

Pontificia Universidad Católica del Perú

Escuela de Posgrado



Propuesta del programa de producción utilizando un modelo de
programación lineal entera

Tesis para obtener el grado académico de Maestro en
Ingeniería Industrial con mención en Gestión de Operaciones

que presenta:

Carlos Alfonso Rojas Lava

Asesor:

Dr. Miguel Hermógenes Mejía Puente

Lima, 2024

Informe de Similitud

Yo, MIGUEL HERMÓGENES MEJÍA PUENTE, docente de la Escuela de Posgrado de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor de la tesis titulada Propuesta del programa de producción utilizando un modelo de programación lineal entera, de el autor Carlos Alfonso Rojas Lava, dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 21%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 23 de abril de 2024.
- He revisado con detalle dicho reporte y la Tesis o Trabajo de investigación, y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lugar y fecha:

Lima, 24 de abril de 2024.

Apellidos y nombres del asesor / de la asesora: <u>MEJIA PUENTE, MIGUEL HERMOGENES</u>	
DNI: 06634011	Firma 
ORCID: 0000-0002-4723-1856	

DEDICATORIA



A mis amados hijos:
Carlos y Ariana por ser el motivo de la búsqueda
constante de mi superación
tanto en el aspecto profesional,
como en el aspecto personal.

AGRADECIMIENTOS



A mis amados padres:
Carlos y Vitalina por brindarme todo su apoyo
para poder acceder a mis estudios superiores,
gracias por todo el sacrificio que hicieron.

RESUMEN

El presente trabajo de tesis detalla una aplicación del método científico de la investigación de operaciones en la solución del problema de programación de producción en la empresa Indulactea. Mediante el enfoque en la modelación de programación lineal entera con el fin de un obtener un programa de producción para la planta. Para el logro de esta meta, después de realizar el modelamiento analizaremos los resultados actuales de la programación actual versus lo propuesto por el modelo de programación lineal.

El presente trabajo de tesis se encuentra estructurado en cuatro capítulos: el marco teórico, estudio del caso, los planes de mejoras y finalmente conclusiones y recomendaciones.

En la primera parte, desarrollaremos el marco teórico: donde presentaremos tres casos de estudio, que emplearon la programación lineal de la investigación de operaciones, para la mejora de sus programas de producción en la empresa Indulactea.

En la segunda parte, se detalla el estudio del caso considerando: el análisis de la industria, la descripción de la empresa, el análisis del sistema productivo y la descripción de la situación actual de la empresa Indulactea.

En la tercera parte, se detalla el plan de mejoras a desarrollar para los problemas encontrados en la situación actual de la empresa Indulactea.

En la última parte, se detallan las conclusiones y recomendación en base al trabajo de tesis presentado.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	V
INDICE DE CUADROS	VI
INDICE DE GRAFICOS	VIII
1. CAPITULO 1 MARCO TEORICO	1
1.1. Caso práctico línea productos líquidos no estériles	1
1.1.1.Introducción	1
1.1.2.Formulación del modelo	1
1.1.3.Conclusiones del modelo	24
1.2. Caso práctico empresa siderúrgica	24
1.2.1.Introducción	24
1.2.2.Formulación del modelo	25
1.2.3.Conclusiones del modelo	44
1.3. Caso práctico empresa industria Nativa S.A.C.	45
1.3.1.Introducción	45
1.3.2.Formulación del modelo	45
1.3.3.Conclusiones del modelo	53
2. CAPITULO 2 ESTUDIO DEL CASO	54
2.1. Análisis de la industria	54
2.2. Descripción de la empresa	55
2.2.1.Visión, misión y valores	55
2.2.2.Estructura organizacional	56
2.2.3.Clientes	57
2.3. Análisis del Sistema productivo	58
2.3.1.Productos	58
2.3.2.Descripción del sistema productivo	58
2.3.3.Principales Procesos	59
2.3.4.Materiales e insumos	61
2.4. Descripción de la situación actual	62
2.4.1.Descripción de los problemas	63
3. CAPITULO 3 PLAN DE MEJORAS	72
3.1. Mejoras a desarrollar.	72
3.1.1.Implementación de modelo de programación lineal entera.	72
3.1.2.Implementación piloto TPM y 5S línea estéril.	80
3.1.3.Mejora de la confiabilidad del sistema de medición de %ST	85
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	94
4.1. Conclusiones	94
4.2. Recomendaciones	95
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	97

ÍNDICE CUADROS

CUADRO 1 Inventarios.	2
CUADRO 2 Registro de ventas.	2
CUADRO 3 Ejemplo de plan proyectado.	2
CUADRO 4 Plan presupuestado.	4
CUADRO 5 Inventario materia prima y envases.	5
CUADRO 6 Ingreso de insumos.	6
CUADRO 7 Duración de operación.	7
CUADRO 8 Ejemplo de programación de tandas de Tónicos.	7
CUADRO 9 Ejemplo de programación de tandas de Concentrados.	7
CUADRO 10 Fechas límites elaboración en tónicos	8
CUADRO 11 Fechas límites elaboración en concentrados.	8
CUADRO 12 Ejemplo de programación de tandas de temporada.	9
CUADRO 13 Fechas límites procesamiento tanda temporada.	9
CUADRO 14 Relación de productos auditados.	12
CUADRO 15 Cantidad de insumo por tanda de producto.	13
CUADRO 16 Fechas límites embotellado de tónicos.	14
CUADRO 17 Fechas límites embotellado de concentrados.	14
CUADRO 18 Fechas límites tanda temporada.	14
CUADRO 19 Productos con TL mayor a 10000 unidades.	15
CUADRO 20 Número de botellas por tanda.	16
CUADRO 21 Fecha límite de embalado en tónicos.	17
CUADRO 22 Fecha límite de embalado en concentrados.	17
CUADRO 23 Fechas límites embalado tanda temporada.	17
CUADRO 24 Importe de salida y gastos de operación.	20
CUADRO 25 Gasto de combinado de producción en tanda temporada.	21
CUADRO 26 Calendario para programación.	23
CUADRO 27 Resumen calendario.	23
CUADRO 28 Insumos mix de carga.	32
CUADRO 29 Cantidad porcentual por componente.	37
CUADRO 30 Calidades de acero.	40

CUADRO 31 Rendimiento de taya.	45
CUADRO 32 Cantidades stock almacén.	46
CUADRO 33 Producción por línea.	46
CUADRO 34 Cantidades mayores a producir.	47
CUADRO 35 Precios de venta.	49
CUADRO 36 Gastos fijos de venta.	49
CUADRO 37 Gastos fijos de venta horario extra.	50
CUADRO 38 Consumo per cápita leche.	54
CUADRO 39 Producción de leches industriales.	54
CUADRO 40 Insumos y materiales.	61
CUADRO 41 Iluvia de ideas.	66
CUADRO 42 OEE línea estéril por mes	67
CUADRO 43 Margen de ganancia.	73
CUADRO 44 Ratio de horas elaboración.	75
CUADRO 45 Ratios de horas envasado.	76
CUADRO 46 Ratios por productos envasado.	76
CUADRO 47 Demanda por producto.	77
CUADRO 48 Almacenamiento de producto.	77
CUADRO 49 Consumo de leche por producto.	78
CUADRO 50 Consumo de leche descremada por producto.	78
CUADRO 51 Programa de limpieza, inspección y lubricación.	81
CUADRO 52 Equipos de trabajo 5S.	82
CUADRO 53 Funciones Equipos 5S.	82
CUADRO 54 Programa de ordenamiento 5S.	83
CUADRO 55 Plan de limpieza.	84
CUADRO 56 Data %ST trabajador 1	86
CUADRO 57 Data %ST trabajador 2	87
CUADRO 58 Data %ST trabajador 3	88
CUADRO 59 Data %ST trabajador 4	89

CUADRO 60 R&R del sistema de medición.	90
CUADRO 61 Componentes de la varianza.	90
CUADRO 62 Rango de aceptabilidad.	91
CUADRO 63 Evaluación del sistema de medición.	91

ÍNDICE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 Proporción de rendimiento de taya.	45
GRÁFICO 2 Organigrama de la empresa.	57
GRÁFICO 3 Diagrama de operaciones.	60
GRÁFICO 4 Clasificación ABC yogurt.	63
GRÁFICO 5 Clasificación ABC leches UHT.	64
GRÁFICO 6 Clasificación ABC Yogurt pasteurizado.	64
GRÁFICO 7 Producción por mes.	65
GRÁFICO 8 Producción real vs programado.	65
GRÁFICO 9 Ishikawa.	66
GRÁFICO 10 Línea estéril OEE.	67
GRÁFICO 11 Distribución OEE.	68
GRÁFICO 12 Paradas programadas.	68
GRÁFICO 13 Paradas no Programadas	69
GRÁFICO 14 Averías.	69
GRÁFICO 15 Mermas en % ST.	70
GRÁFICO 16 Variación en %ST.	71
GRÁFICO 17 LUP Limpieza.	81
GRÁFICO 18 LUP Lubricación	81
GRÁFICO 19 Lugares de difícil acceso	84
GRÁFICO 20 Componente de variación	91
GRÁFICO 21 S por encargado	92
GRÁFICO 22 Componentes de variación sub grupo.	92
GRÁFICO 23 Componentes de variación encargado.	93

1 CAPITULO 1 MARCO TEORICO

En el capítulo 1, como reforzamiento a la parte teórica de la programación lineal se muestra el resumen, la formulación y las conclusiones de tres casos de estudio que realizaron el modelamiento en programación lineal para la optimización de sus programas de producción para sus respectivas plantas.

1.1 Caso práctico línea de productos líquidos no estériles

El caso práctico 1 se titula “programa de producción de la línea de productos líquidos no estériles”, es una tesis de Licenciatura de ciencias e ingeniería de PACORICUNA CABRERA, Eddy Santiago del año 2013. A continuación, se hará una breve descripción de este caso.

1.1.1 Introducción

En el caso práctico se describe la establece el modelo matemático de la línea de líquidos no estériles, considerando la investigación de operaciones que nos permitirá simular la realidad de los procesos, mediante un modelo de programación lineal que nos dará como resultado cuantas tandas de elementos a producir fabricaremos y en que periodos elaborar dicha producción para cubrir los requerimientos de mercado tomando en cuenta las restricciones de fabricación; las materias primas en stocks y de acuerdo a la priorización dada a nuestros consumidores, teniendo como objetivo en todo momento llegar al óptimo de los ingresos para la empresa.

1.1.2 Formulación del modelo

Anteriores periodos fábrica cumplió con atender el 64% de la demanda. Por tanto, se debe buscar para mejorar las utilidades llegar al 100% y no perder ventas. Por lo cual, el departamento de gestión de la demanda encargada de entregar los datos para la programación de los elementos a producir. área de planificación de la producción, en contacto con los otros departamentos, deben elaborar un plan de elementos a producir que le especifique los elementos que se fabricaran a lo largo del periodo (un mes) considerando las limitaciones que se presentan en las etapas de planificación y producción.

A continuación, se detallará los procesos planificación y producción, y al mismo tiempo se irá desarrollando el modelo matemático.

Proceso de Planificación

La Planta tiene una norma de inventarios para cada consumidor en función al alcance. El alcance es un indicador que refiere el número de periodos que el inventario actualizado cubrirá los requerimientos de las necesidades de mercado. En el Cuadro 1 se puede ver las normas de inventario de nuestros compradores. Por ejemplo, para los elementos producidos para el comprador “LLPP”, se debe tener como mínimo inventario para 4 meses. En caso de que este indicador sea 3.8 (menor a 4.0), se requerirá fabricar más tandas para alcanzar el stock de 4.0.

Cuadro1 Stocks mínimos

Compradores	Inventario de stock mínimo
LLPP	4.0 periodos
Retail	3.0 periodos
Terceros	2.5 periodos

Fuente: La Empresa (2013)

A la vez se tiene estadísticas de salidas de producto a clientes por periodo (mensual) para cada elemento a producir. En el Cuadro 2 se detalla las salidas de productos de los seis últimos periodos para los 3 elementos producidos más significativos asignado a cada clase de comprador. En cada elemento a producir se obtiene un promedio de venta por periodo que se utilizara como punto de partida para elaborar las siguientes proyecciones. Por ejemplo, en el elemento a producir Tónico 25, el valor de venta mensual promedio de los últimos 6 periodos es de 4162 unidades.

Cuadro 2 Registro de ventas mensuales de tres productos

Comprador	Elemento a Producir	Periodo 1	Periodo 2	Periodo 3	Periodo 4	Periodo 5	Periodo 6	Salida promedio
LLPP	Tónico25	1713	2651	3807	6501	5641	4658	4162
Retail	Concentrado06	4767	4050	5691	6374	7104	6925	5819
Terceros	Tónico05	3126	3750	4562	3958	5101	5213	4285

Fuente: La Empresa (2013)

Con lo días disponibles de inventario mínimo asignado a los compradores y la salida de producto por periodo promedio el encargado de la planeación elabora un plan de productos a producir presupuestado para los primeros seis meses (periodo). Para el caso, en el Cuadro 3 el Tónico 25 cuenta con 10002 elementos como *stock* al inicio al periodo de enero del 2013, lo que equivale a tener un *stock* de 2.4 periodos. Para cumplir con la política de inventario, se planifica fabricar 2 lotes en el periodo de enero que equivalen a 12252 elementos. Si a esto se le resta la salida mensual promedio, se proyecta que al final del periodo de enero quedará 18092 elementos en inventario, lo que equivale a tener 4.3 periodos de alcance. La función para establecer los días disponibles de producto es la siguiente:

$$Alcance = \frac{\text{stock de producto}(\text{unidades})}{\text{Venta mensual promedio}(\text{unidades})} \quad (1)$$

Cuadro 3 Ejemplo del plan proyectado

Datos				Planificación		Proyecciones	
Elemento a producir	Dimensión de tanda STD	Inventario al inicio ene-13	Venta	#tandas a fabricar	Unidades	Stock final ene-13	Alcance
Tónico25	6126	10002	4162	2	12252	18092	4,3
Concentrado08	5717	6542	5819	3	17151	17875	3.1
Tónico05	19602	9950	8083	1	19602	21469	2.7

Fuente: La Empresa (2013)

Así de esta manera, se tendrá una correlación de tandas de elementos a producir requeridos en el periodo que el encargado de fabricación deberá conseguir en el periodo. Considerando la restricción de capacidad, se tendrá elementos a producir que no se elaborarán por lo que se mantendrán como pendiente a realizarse en el periodo posterior.

De acuerdo a las normas de inventarios de la planta, cada comprador que es dueño del producto tendrá un nivel de importancia de atención. En el modelamiento definiremos a P_2 que significará el nivel de importancia del comprador1, P_2 que indicará el nivel de importancia del comprador2 y P_3 que indicará el nivel de importancia del comprador3. Aquí el comprador1 representa a "LLPP", el comprador2 representa a *retail*, y el comprador3 representa a "Terceros", y la ecuación a considerar para los tres clientes es:

$$P_1 \gg P_2 \gg P_3 \quad (2)$$

En el Cuadro 4 se detalla el número de tandas necesitados en el plan presupuestado de producción de los periodos de enero a mayo del 2013 resultados al comienzo del periodo de enero. Como el periodo tomado para efectos de la modelación será de un mes, sea $JabD_i$ el número de tandas del Tónico i que se requerirán en el periodo y $SusD_j$ el número de tandas del Concentrado j que se requerirán en el periodo, en donde $i=1,\dots,31$ y $j=1,\dots,9$.

Debido a que en algunas ocasiones no completaremos las necesidades de tandas de algunas fechas, sea $JabP_i$ número de tandas del Tónico i que se fabrican en el periodo, $SusP_j$ número de tandas de Concentrado j que se fabrican en el periodo, $JabNP_i$ número de tandas del Tónico i que se dejan de fabricar en el periodo y $SusNP_j$ número de tandas de la Concentrado j que se dejan de producir en el periodo (un mes), en donde $i=1,\dots,31$ y $j=1,\dots,9$. Esto nos ayudará a saber el número de tandas que estamos fabricando y el número de tandas que dejamos de fabricar con lo cual construimos las restricciones:

$$JabP_i + JabNP_i = JabD_i ; \forall i, = 1, \dots, 31. (3)$$

$$SusP_j + SusNP_j = SusD_j ; \forall j = 1, \dots, 9. (4)$$

Se debe considerar que el número de tandas que se dejan de fabricar en el periodo de enero $JabNP_i$ y $SusNP_j$ se aumentaran a los requerimientos de tandas del periodo de febrero y de la misma manera en subsiguientes periodos.

Cuadro 4 Plan presupuestado periodos de enero a mayo del 2013.

Elemento a producir	Unid STD x lote	Periodo1	Periodo 2	Periodo 3	Periodo 4	Periodo 5
Tónico1	12,545	-	-	-	-	-
Tónico2	6,534	-	-	-	-	-
Tónico3	6,534	1	-	-	-	-
Tónico4	9,801	1	-	-	-	-
Tónico5	19,602	1	2	-	1	2
Tónico6	7,841	-	-	-	-	-
Tónico7	14,702	-	-	1	1	-
Tónico8	14,702	1	-	-	-	-
Tónico9	4,901	1	-	1	-	-
Tónico10	5,445	-	-	-	-	-
Tónico11	4,901	-	-	-	-	-
Tónico12	4,901	-	-	1	1	-
Tónico13	5,717	1	-	1	-	-
Tónico14	5,881	-	-	-	-	-
Tónico15	1,634	-	-	-	-	-
Tónico16	9,801	-	-	-	-	-
Tónico17	4,901	-	-	1	1	-
Tónico18	8,168	-	1	-	1	-
Tónico19	5,717	1	1	1	-	-
Tónico20	9,801	1	1	-	1	-
Tónico21	14,702	-	-	-	-	-
Tónico22	14,702	-	-	-	-	-
Tónico23	4,901	1	1	-	1	1
Tónico24	11,761	-	1	-	1	-
Tónico25	6,126	2	1	-	1	2
Tónico26	4,901	-	-	-	-	-
Tónico27	2,450	-	1	-	-	1
Tónico28	9,801	-	-	1	1	-
Tónico29	12,545	2	-	1	2	1
Tónico30	13,068	1	-	1	-	-
Tónico31	2,940	1	-	-	1	-
Concentrado 1	2,352	3	1	2	2	3
Concentrado 2	5,717	-	1	-	-	-
Concentrado 3	5,717	2	-	3	1	-
Concentrado 4	1,906	1	2	2	2	-
Concentrado 5	3,430	-	1	1	-	1
Concentrado 8	5,717	3	4	1	2	2
Concentrado 7	2,352	3	1	2	-	-
Concentrado 8	5,717	1	-	1	1	-
Concentrado 9	6,861	-	1	-	-	1
Total lotes		28	20	21	21	14

Fuente: La Empresa (2013)

Al inicio de la fabricación de cualquier elemento a producir, la persona encargada de la programación constata la existencia de *stocks* en el almacén. El insumo principal que se consume en la etapa de elaboración es la materia prima; la etapa de embotellado, las botellas y en la etapa de embalado, los empaques secundarios. Según indica el responsable de planeamiento, las materias primas y las botellas tienen un tiempo de entrega muy significativo; cuatro periodos para el número uno y dos periodos para el número dos. En el caso de empaque secundario, estos tienen un tiempo de entrega de siete días por lo que para la emisión del programa no se considera como insumo crítico.

En el Cuadro 5 se muestran el inventario de materia prima y botellas a inicios del periodo de enero siendo este el primer periodo a modelar. En el modelo sea INS_{ow} la cantidad de kilogramos de materia prima w que existen al inicio del periodo y EN_{oz} el número de unidades de botellas z que existe al inicio del periodo. De igual manera sea $INSU_w$ el número de kilogramos de materia prima w utilizados en la

producción del periodo, ENU_z el número de unidades de botellas z utilizados en la fabricación del periodo, $INSU_w$ el número de kilogramos de materia prima w que queda al final del periodo y ENf_z el número de unidades de botellas z que quedan al final del periodo, en donde $w=1,\dots,25$ y $z=1,\dots,26$. Estos se usarán en las siguientes restricciones:

$$INSU_w + INSf_w = INSQ_w ; \forall w = 1, \dots, 25. (5)$$

$$ENU_z + ENf_z = ENO_z ; \forall z = 1, \dots, 26 (6)$$

Cuadro 5 Inventario inicial de materia prima y envases

Insumos		Envases	
Código	Cantidad en kilos	Código	Cantidad en unidades
INS1	230	BOT1	0
INS2	20	BOT2	0
INS3	60	BOT3	6,850
INS4	200	BOT4	10,250
INS5	12	BOT5	24,599
INS6	0	BOT6	3,787
INS7	3.828	BOT7	18,294
INS8	268.801	BOT8	14,307
INS9	37.547	BOT9	991
INS10	20	BOT10	6,463
INS11	13.176	BOT11	20,512
INS12	0.643	BOT12	25,016
INS13	13.176	BOT13	5,323
INS14	89.093	BOT14	7,901
INS15	4.293	BOT15	23,272
INS16	0.286	BOT16	0
INS17	18.367	BOT17	0
INS18	0.562	BOT18	15,064
INS19	52.258	BOT19	14,067
INS20	487.1	BOT20	3,450
INS21	153.53	BOT21	12,329
INS22	0.075	BOT22	32,698
INS23	9.58	BOT23	9,105
INS24	136.753	BOT24	3,365
INS25	53.741	BOT25	9,308
		BOT26	0

Fuente: La Empresa (2013)

Al final de cada periodo en el modelamiento, los datos de los parámetros $INSf_w$ y $BOTf_z$ que indican el inventario al final de insumos y botellas en ese orden, se definirán los parámetros $INSO_w$ y $BOTO_z$ definiendo a estos como los datos al inicio de inventario de insumos con que se cuenta del siguiente periodo. A la vez, BOT en el Cuadro 6 se muestra los ingresos previstos de insumos y botellas para los periodos de enero a mayo del 2013. Para tener en cuenta en el modelamiento, estos datos se suman directamente a los datos de $INSO_w$ y $BOTO_z$. Si BOT el periodo de enero el inventario final de INS09 fue

de 10kg, entonces el dato del inventario al inicio de INS09 para el periodo de febrero será de 10kg, y si además existe un ingreso de 50 kg para el periodo de febrero, por eso el dato al inicio de INS09 de periodo de febrero será de 60kg. Tomar en cuenta que los datos son parámetros, por lo que la persona encargada de la programación los introducirá al modelo en forma manual.

Cuadro 6 ingresos de insumos previstos de febrero a mayo

Código insumo	Feb-13	Mar-13	Abr-13	May-13
INS07		14		
INSG8		340		
INSG9	50			200
INSF14	150			150
INS18	1			1
INS20			480	
INS21		100		
INS22	5			
INS23			20	
INS25			100	
BOT05		42000		42000
BOTG6	10000	8000		
BOT07		36000	12000	
BOT08			23000	
BOT11		25000		
BOT12		15000		
BOT13			6000	6000
BOT14	3000	8000		4600
BOT15	5670			13000
BOT17	5966			
BOT18		25000		12500
BOT19		13700		
BOT20			3000	
BOT21			10000	
BOT22	30000		40000	
BOT23			3150	3150
BOT24		1500		
BOT25			12000	
BOT26		7500		

Fuente: La Empresa (2013)

Las etapas a considerar de producción en la línea de líquidos no estériles son elaboración, embotellado y embalado. En cada tanda de producto los procesos se realizan de forma consecutiva, uno tras otro.

Etapa de elaboración

La etapa de elaboración consta de dos operaciones: combinado y colado. Primero se realiza la etapa de combinado y luego la etapa de colado; ambas operaciones se realizan en la misma área de elaboración por lo que solo se puede realizar una etapa a la vez. En el modelo se utilizaron las siguientes variables binarias:

M_dJ_i : opción de combinar en la fecha d una tanda del Tónico i, donde $i = 1, \dots, 31$

F_dJ_i : opción de colar en la fecha d una tanda del Tónico i, donde $i = 1, \dots, 31$

M_dS_j : opción de combinar en la fecha d una tanda del Concentrado j, donde $i = 1, \dots, 9$

F_dS_j : opción de colar en la fecha d una tanda del Concentrado j, donde $i = 1, \dots, 9$

El rango del dígito d se definirá más adelante.

Cuadro 7 Duración de operación por lote

Elemento a producir	Etapa	Tiempo
Tónico	Combinado	0.5 fechas
	Colado	0.5 fechas
Total duración del tiempo de entrega de elaboración		1 fecha
Concentrado	Combinado	1 fecha
	Colado	1 fecha
Total duración del tiempo de entrega de elaboración		2 fechas

Fuente: La Empresa (2013)

El tiempo de proceso de cada etapa se detalla en el Cuadro 7 El tiempo de entrega del proceso de elaboración se mide en fechas por tanda y difiere según el tipo de producto que se va a procesar (Tónico o Concentrado). En caso de fabricar una tanda de Tónico, las actividades de combinado y colado se realizarán en la misma fecha, por lo que el proceso de elaboración tendrá un tiempo de entrega de una fecha por cada tanda de Tónico. En caso de que se fabrique una tanda de Concentrado, las actividades de combinado y colado se realizarán en dos fechas consecutivas, por lo que el proceso de elaboración tendrá un tiempo de entrega de dos fechas por cada tanda de Concentrado. En los Cuadros 8 y 9 se muestra un ejemplo de programación de tandas de Tónicos y un ejemplo de programación de tandas de Concentrados respectivamente.

Cuadro 8 Ejemplo de programación de tandas de Tónicos

Operación	Fecha 1	Fecha 2	Fecha 3	Fecha 4	Fecha 5	Fecha 6
Combinado	M_1J_3	M_2J_8	M_3J_{10}	M_4J_{10}	M_5J_3	M_8J_{10}
Colado	M_1J_3	M_2J_8	M_3J_{10}	M_4J_{15}	M_5J_3	M_8J_{10}

Fuente: La Empresa (2013)

Cuadro 9 Ejemplo de programación de tandas de Concentrados

Operación	Fecha 1	Fecha 2	Fecha 3	Fecha 4	Fecha 5	Fecha 6
Combinado	M_1S_5	-	M_2S_8	-	M_5S_5	-
Colado	-	F_2S_5	-	F_2S_8	-	F_6S_5

Fuente: La Empresa (2013)

Para efectos en el sistema de contabilidad una tanda de elemento a producir se considera como tanda fabricado del mes de contabilizado sí su operación de combinado y colado se ejecutan en el mes. Por

lo cual, definiremos los límites de fechas de proceso para cada clase de elemento a producir. Para esto, utilizamos la sigla td_m para asignar al total de fechas que existen en el mes m . Los valores de m son 1=enero, 2-febrero, 3= marzo, 4= abril y 5= mayo; de esta manera, $td_1=31$, $td_2=28$, $td_3=31$, $td_4=30$ y $td_5=31$. De ese modo, para que cualquier tanda de un Tónico sea contabilizado dentro del mes, la fecha más temprana para combinar y colar una tanda de Tónico es la primer fecha del periodo y la fecha más tardía es la fecha td_m (ver Cuadro 10); así mismo, para que cualquier tanda de una Concentrado sea contabilizado dentro del periodo, la fecha más temprana que puede combinar es la primer fecha y la fecha más temprana que se puede colar es la segunda fecha, en cambio, la fecha más tardía que se puede combinar es la fecha $td_m - 1$ (penúltima fecha) y la fecha más tardía que se puede colar es la fecha td_m (ver Cuadro 11). De este modo, el rango de valores del dígito d para las variables M_dJ_i y F_dS_j será $d=1, \dots, td_m$, para M_dS_j , $d=1, \dots, td_m - 1$ y para F_dS_j , $d=2, \dots, td_m$.

Cuadro 10 Fechas límites de elaboración en Tónicos

Operación	Fecha 1	Fecha 2		Fecha $td_m - 1$	Día td_m
Combinado	M_1J_3	M_2J_8		$M_{td_m-1} J_{19}$	$M_{td_m} J_{10}$
Colado	M_1J_3	M_2J_8		$M_{td_m-1} J_{19}$	$M_{td_m} J_{10}$

Fuente: La Empresa (2013)

Cuadro 11 Fechas límites de elaboración en concentrados

Operación	Fecha 1	Fecha 2		Fecha $td_m - 1$	Fecha td_m
Combinado	M_1S_5	-		$M_{td_m-1} S_7$	-
Colado	-	F_2S_5		-	$F_{td_m} S_7$

Fuente: La Empresa (2013)

La capacidad de La Planta para el proceso de elaboración depende de la disponibilidad del área. En el modelo se define el parámetro día d que toma el valor de 1 si el área de elaboración está disponible para trabajar en la fecha d , y 0 en caso contrario, donde $d=1, \dots, td_m$. Los valores de dia_d serán 0 en las fechas no laborables y cuando el área se encuentre en mantenimiento. Este valor lo establece la persona encargada de la programación y es dato de ingreso para el modelamiento.

Dado que para cada tanda de un Tónico se pueden realizar las operaciones de combinado y colado en la misma fecha, la opción de programarlo solo dependerá de que el área se encuentre libre de producción, o sea del valor que previamente se ha definido para dia_d . En este caso tenemos las siguientes restricciones:

$$\sum_{i=1}^{31} M_{di} \leq dia_d ; \forall d = 1, \dots, td_m \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^{31} M_{di} \leq dia_d ; \forall d = 1, \dots, td_m \quad (8)$$

Para el caso de los concentrados la elaboración de cada tanda se debe realizar en dos fechas; a la vez, se puede utilizar la fabricación en temporada que es un caso especial de la operación de

combinado cuando se programan, de forma consecutiva, dos tandas de un mismo producto de la clase Concentrado. El tiempo de entrega de elaboración para dos tandas consecutivos de Concentrados es cuatro fechas, pero con la producción en temporada el tiempo de entrega se puede reducir a tres fechas. Ver Cuadro 12

Cuadro 12 Ejemplo de programación de tanda temporada

Operación	Fecha 1	Fecha 2	Fecha 3	Fecha 4	Fecha 5	Fecha 6
Combinado	M ₁ S ₅ M ₁ S ₅	-	-	M ₄ S ₈	-	Libre
Colado	-	F ₂ S ₅	F ₃ S ₅		F ₅ S ₈	-

Fuente: La Empresa (2013)

En el Cuadro 12 se ha considerado la programación de las operaciones de fabricación para 3 tandas de Concentrados (2 tandas de la Concentrado 5 y 1 tanda de la Concentrado 8). Las opciones de etapas de elaboración han sido las siguientes:

Etapas 1: Concentrado 5 - Concentrado 5 - Concentrado 8;

Etapas 2: Concentrado 5 - Concentrado 8 - Concentrado 5;

Etapas 3: Concentrado 8 - Concentrado 5 - Concentrado 5;

Si tomamos la etapa "1" o la etapa "3" podríamos realizar la elaboración de las dos tandas de la Concentrado 5 en 3 fechas (la etapa "1" se muestra en el Cuadro 12), pero si tomamos la etapa "2" (mostrado en el Cuadro 9) la producción de las dos tandas de la Concentrado 5 se ejecutarían en 4 fechas obligatoriamente. La tanda inicial de la producción en temporada sigue el procedimiento establecido ya que se combina en la primera fecha y se colará en la segunda fecha, en cambio, el segundo tanda (tanda temporada) se combina en la primera fecha y se colará en la tercera fecha.

Para que una tanda temporada sea contabilizado dentro del mes, este debe ser fabricado (combinado y colado) en el mismo mes, por lo que su fecha más temprana de combinado es la primera fecha del mes y su fecha más temprana de colado, la tercera fecha del mes; en cambio, la fecha más tardía del combinado es td_m-2 y del colado, td_m . Ver Cuadro 13

Cuadro 13 Fechas límites de procesamiento en tandas temporada

Operación	Fecha 1	Fecha 2	Fecha 3		Fecha td_m-2	Fecha td_m-1	Fecha td_m
Combinado	M ₁ S ₅ M ₁ S ₅	-	-		M _{td_m-2S₂ M_{td_m-2S₂}}	-	-
Colado	-	F ₂ S ₅	F ₃ S ₅			F _{td_m-1S₂}	F _{td_mS₂}

Fuente: La Empresa (2013)

Una ventaja de la fabricación en temporada se fundamenta en tener tanques libres de combinado, los cuales pueden ejecutar la operación de dos tandas a la vez (es decir paralelamente). Empero, las dos tandas deben ser obligatoriamente del mismo elemento a producir para no ocasionar una contaminación cruzada³.

Con la alternativa de la fabricación en temporada, nuevamente se define $M_d S_j$ y $F_d S_j$, y establecimos las nuevas variables binarias:

$M_d S_{1j}$: opción de combinar en la fecha d una tanda de la Concentrado j

Donde $d=1, \dots, td_m-1$; $j=1, \dots, 9$.

$M_d S_{2j}$: opción de combinar en la fecha d una tanda temporada de la Concentrado j

Donde $d=1, \dots, tdm-2$; $j=1, \dots, 9$.

$F_d S_{2j}$: opción de colar en la fecha d una tanda de la Concentrado j

Donde $d=2, \dots, tdm$; $j=1 \dots 9$.

$F_d S_{2j}$: opción de colar en la fecha d una segunda tanda consecutivo de la Concentrado j

Donde $d=3, \dots, tdm$; $j=1, \dots, 9$.

Al igual que los Tónicos la opción de combinar y fabricar solo estará en función de que la zona o etapa se encuentre libre de trabajo, o sea del dato de que se ha establecido para dia_d . Debemos tener en consideración que para los concentrados solo se puede realizar una etapa a la fecha, las restricciones de capacidad de combinado y colado para los concentrados tienen la siguiente forma:

Combinado

$$\text{Sin tanda temporada: } \sum_{j=1}^9 M_d S_{1j} \leq dia_d ; \forall d = 1, \dots, td_m - 1 \quad (9)$$

$$\text{Con tanda temporada: } \sum_{j=1}^9 M_d S_{2j} \leq dia_d ; \forall d = 1, \dots, tdm - 2 \quad (10)$$

Colado

$$\text{Sin tanda temporada: } \sum_{j=1}^9 F_d S_{1j} \leq dia_d ; \forall d = 2 \quad (11)$$

$$\text{Con tanda temporada: } \sum_{j=1}^9 F_d S_{1j} + \sum_{j=1}^9 F_d S_{2j} \leq dia_d ; \forall d = 3, \dots, tdm \quad (12)$$

En la práctica los Tónicos y los Concentrados se consideran programar juntos por lo que la persona encargada de la programación elegirá la opción de cualquiera de los dos. De acuerdo a esto, unimos las restricciones (7), (8), (9), (10), (11) y (12) y la convertimos en las siguientes restricciones:

³Contaminación cruzada: Contaminación de insumos producto en proceso, o producto finalizado, con otra insumo o elemento producido durante la producción. Recopilado del Manual de BPM de Productos Farmacéuticos. DIGEMID, 1999.

Recursos libres en la etapa de combinado sin tanda temporada

$$\sum_{i=1}^{31} M_d J_i + \sum_{j=1}^9 M_d S_{1j} \leq dia_d ; \forall d = 1, \dots, td_m - 1 \quad (13)$$

$$\sum_{i=1}^{31} M_d J_i \leq dia_d ; \forall d = td_m \quad (14)$$

Recursos libres en la etapa de combinado con tanda temporada

$$\sum_{j=1}^9 M_d S_{2j} \leq dia_d ; \forall d = 1, \dots, td_m - 2 \quad (15)$$

Recursos libres en la etapa de colado sin tanda temporada

$$\sum_{i=1}^{31} F_d J_i \leq dia_d \forall d = 1 \quad (16)$$

$$\sum_{i=1}^{31} F_d J_i + \sum_{j=1}^9 F_d S_{1j} \leq dia_d ; \forall d = 2 \quad (17)$$

Recursos libres en la etapa de colado con tanda temporada

$$\sum_{i=1}^{31} F_d J_i + \sum_{j=1}^9 F_d S_{1j} + \sum_{j=1}^9 F_d S_{2j} \leq dia_d ; \forall d = 3, \dots, td_m \quad (18)$$

De manera que el modelamiento se aproxime lo más posible a la realidad existente de lo programado de acuerdo a las temporadas de producción se definen a continuación las restricciones:

Ecuación del combinado de dos tandas que se fabrican en temporada. Si se mezcla en la fecha d una tanda temporada del Concentrado j "M_dS_{2j}", entonces se combina en la fecha d una tanda del mismo Concentrado j "M_dS_{1j}".

$$M_d S_{2j} - M_d S_{1j} \leq 0 ; \forall d = 1, \dots, td_m - 2. \forall j = 1, \dots, 9. \quad (19)$$

Ecuación del colado de dos tandas que se producen en temporada. Si se cuelean en la fecha d+1 un segundo tanda temporada del Concentrado j "F_dS_{2j}", entonces se cuelea en la fecha d una tanda del Concentrado j "F_dS_{1j}".

$$F_{(d+1)} S_{2j} - F_d S_{1j} \leq 0 ; \forall d = 2, \dots, td_m - 1 ; \forall j = 1, \dots, 9. \quad (20)$$

Entonces, para cumplir con que en la elaboración de Concentrados solo se ejecute una etapa de combinado o colado en la fecha se definen las siguientes restricciones:

$$\sum_{j=1}^9 F_d S_{1j} + \sum_{j=1}^9 M_d S_{1j} \leq 1 ; \forall d = 2 \quad (21)$$

$$\sum_{j=1}^9 F_d S_{1j} + \sum_{j=1}^9 F_d S_{2j} + \sum_{j=1}^9 M_d S_{1j} \leq 1 ; \forall d = 3, \dots, td_m - 1 \quad (22)$$

Así mismo, para cumplir de que el modelamiento ejecute el programa con la secuencia correcta estableciendo programar al inicio el combinado y posterior el colado se definen las restricciones:

Correlación entre la etapa de combinado y colado de Tónicos

$$F_d J_i - M_d J_i \leq 0 ; \forall i = 1, \dots, 31 ; \forall d = 1, \dots, td_m \quad (23)$$

$$M_d J_i - F_d J_i \leq 0 ; \forall i = 1, \dots, 31 ; \forall d = 1, \dots, td_m \quad (24)$$

Correlación entre la etapa de combinado y colado de Concentrados sin tandas temporada.

$$F_{d+1}S_{1j} - M_dS_{1j} \leq 0; \forall J = 1, \dots, 9; \forall d = 1, \dots, td_m - 1 \quad (25)$$

$$M_dS_{1j} - F(d+1)S_{1j} \leq 0 \forall J = 1, \dots, 9; \forall d = 1, \dots, td_m - 1 \quad (26)$$

Correlación entre la etapa de combinado y colado de Concentrados de tandas temporada

$$F_{(d+2)}S_{2j} - M_dS_{2j} \leq 0; \forall J = 1, \dots, 9; \forall d = 1, \dots, td_m - 1 \quad (27)$$

$$M_dS_{2j} - F_{(d+2)}S_{2j} \leq 0; \forall J = 1, \dots, 9; \forall d = 1, \dots, td_m - 1 \quad (28)$$

Otra consideración a tomar en cuenta viene de la particularidad de los elementos producidos bajo supervisión del estado. Los cual se producen con materias primas cuyo consumo es controlado por DIGEMID (Dirección General de Medicamentos, insumos y Drogas). Por lo cual en la fecha que se necesite producir un producto controlado, se requiere la presencia DIGEMID para que audite las dosis que se van a consumir de la materia prima. Debido a que las gestiones a realizar para que DIGEMID pueda auditar al comienzo de la elaboración es aproximadamente de 17 a 19 fechas, el responsable de producción aconseja que los elementos a producir se establezcan en el programa a partir la fecha 20 de cada mes. Estos elementos producidos bajo supervisión del estado se muestran en el Cuadro 14

Cuadro 14 Relación de productos auditados

ID	Elemento a producir	Formato	Tamaño de tanda
J3	Tónico 3	15 ml	6534 unid
J7	Tónico 7	60 ml	14702 unid
J3	Tónico 8	60 ml	14702 unid
J18	Tónico 18	60 ml	8168 unid
J21	Tónico 21	60 ml	14702 unid
J22	Tónico 22	60 ml	14702 unid

Fuente: La Empresa (2013)

Conforme a las normas actuales para la programación de los elementos a producir bajo supervisión del estado, se define la ecuación:

$$M_dJ_i = 0; \forall J = 1, \dots, 19; \forall i = 3,7,8,18,21,22. \quad (29)$$

Por otra parte, el número de insumo en kilogramos que es asignado a cada tanda del elemento a producir se muestra en el Cuadro 15 Se tiene 25 clases de insumos para los 40 elementos a producir que existen, por lo que una clase de insumo puede usarse en varios elementos a producir.

Cuadro 15 Cantidad de insumo por tanda de producto

ID	Código de insumo	Cantidad (kg/tanda)	ID	Código de insumo	Cantidad (kg/tanda)
J1	INS01	56.50	J21	INS07	1.96
J2	INS02	0.52	J22	INS07	1.96
J3	INS03	3.09	J23	INS14	30.60
J4	INS04	15.00	J24	INS15	1.89
J5	INS05	1.00	J25	INSQ9	11.90
J6	INS06	1.00	J26	INS16	4.00
J7	INS07	1.96	J27	INS17	1.25
J8	INS07	1.96	J28	INS08	16.28
J9	INS08	55.34	J29	INS18	0.20
J10	INS09	18.18	J30	INS18	0.19
J11	INS10	0.55	J31	INS19	9.69
J12	INS10	0.55	S1	INS20	33.98
J13	INSQ2	0.37	S2	INS21	14.80
J14	INS11	1.08	S3	INS21	29.60
J15	INS12	0.10	S4	INS22	0.35
J16	INS08	16.28	S5	INS23	0.36
J17	INS08	55.34	S6	INS24	7.35
J18	INS03	3.09	S7	INS20	33.98
J19	INS04	11.20	S8	INS25	14.00
J20	INS13	2.78	S9	INS25	28.00

Fuente: La Empresa (2013)

Establecemos el número de kg. de insumos a usar en cada tanda de elemento a producir, para lo cual nombramos la variable $vcmjab_i$ como el indicador de transformación de tanda a insumo para una tanda del Tónico y $vcmsus_j$ indicador de transformación de tanda a insumo para una tanda de la Concentrado j , y se define la ecuación:

$$MPU_w = vcmjab_i * JabP_i + vcmsus_j * SusP_j; \forall w = 1, \dots, 25; \forall i = 1, \dots, 31; \forall j = 1, \dots, 9. \quad (30)$$

Al final, para tener contabilizado el número de tandas fabricados en el periodo, se usan las variables de opción de combinado M_dJ_j , M_dS_{1j} , M_dS_{2j} ya que estas comienzan la producción. Se definen las ecuaciones:

$$JabP_i - \sum_{d=1}^{30} M_dJ_i = 0; \forall i = 1, \dots, 31. \quad (31)$$

$$SusP_j - \sum_{d=1}^{t_{dm}-1} M_dS_{1j} - \sum_{d=1}^{t_{dm}-2} M_dS_{2j} \quad \forall j = 1, \dots, 9 \quad (32)$$

Finalizando con las operaciones de combinado y colado, se termina con el proceso de producción en el área de fabricación. La etapa a continuación es el embotellado, el cual se ejecuta en el área de empaque.

Proceso de embotellado

La etapa de embotellado está conformada por los subprocesos de llenado, tapado, preparación de botellas o envases y apilamiento de estos envases en jabas; y estos procesos se realizan en forma paralela. Para el modelamiento se usaron las siguientes variables binarias:

E_{dJ_i} : opción de embotellar en la fecha d una tanda del Tónico i

Donde $d=2, \dots, t_{dm}+1$; $i=1, \dots, 31$.

E_{jS_j} : opción de embotellar en la fecha d una tanda de la Concentrado j

Donde $d=3, \dots, t_{dm}+1$; $j=1, \dots, 9$.

E_{dS_j} : opción de embotellar en la fecha d una tanda temporada de la Concentrado j Donde $d=4, \dots, t_{dm}+1$;

Distinto de la elaboración, las fechas para el inicio de la etapa de embotellado son $d=2$ para las tandas de Tónicos, $d=3$ para las tandas de Concentrados de procesar en condiciones normales y $d=4$ para las tandas temporada de las Concentrados; la fecha más alejada es $d=t_{dm}+1$ para cualquier producto. Detalle en los Cuadros 16, 17 y 18.

Cuadro 16 Fechas límites de embotellado en Tónicos

Operación	Fecha 1	Fecha 2		Fecha t_{dm}	Fecha $t_{dm}+1$
Combinado	M_1J_3			$M_{t_{dm}}J_{19}$	
Colado	M_1J_3				
Embotellado		E_2J_3			$E_{t_{dm}+1}J_{19}$

Fuente: La Empresa (2013)

Cuadro 17 Fechas límites de embotellado en Tónicos

Operación	Fecha 1	Fecha 2	Fecha 3		Fecha $t_{dm}-1$	Fecha t_{dm}	Fecha $t_{dm}+1$
Combinado	M_1S_{15}			...	Fecha $t_{dm}-1$	Fecha $t_{dm}-1$	Fecha $t_{dm}-1$
Colado		F_2S_{15}		...		$F_{t_{dm}}S_{12}$	
Embotellado			E_3S_{15}	...			$E_{t_{dm}+1}S_{12}$

Fuente: La Empresa (2013)

Cuadro 18 Fechas límites de embotellado en Tónicos

Operación	Fecha 1	Fecha 2	Fecha 3	Fecha 4		Fecha $t_{dm}-2$	Fecha $t_{dm}-1$	Fecha t_{dm}	Fecha $t_{dm}+1$
Combinado	M_1S_{15} M_1S_{25}	-			...	$M_{t_{dm}-2}S_{12}$ $M_{t_{dm}-2}S_{12}$			
Colado	-	F_2S_{15}	F_2S_{25}		...		$F_{t_{dm}}S_{12}$	$E_{t_{dm}}S_{22}$	
Embotellado			E_3S_{15}	E_3S_{15}	...			$E_{t_{dm}}S_{12}$	$E_{t_{dm}+1}S_{22}$

Fuente: La Empresa (2013)

La producción capaz de realizar la fábrica para la etapa de embotellado se encuentra en función de que el área se encuentre disponible, o sea del valor de que la persona encargada de programar establezca para fecha $_d$. El tiempo de entrega de la etapa de embalado se cuantifica en fechas por tanda

y es una fecha por cada tanda de Tónico y una fecha por cada tanda de Concentrado. De este modo, si fecha_d = 1 solo podremos trabajar el embotellado de una tanda en cada fecha. Para el modelamiento, se definen las ecuaciones:

Disponibilidad de capacidad en la etapa de embotellado sin tanda temporada

$$\sum_{i=1}^{31} E_d J_i \leq fecha; \forall d = 2 \quad (33)$$

$$\sum_{i=1}^{31} E_d J_i + \sum_{j=1}^9 E_d S_{1j} \leq fecha_d; \forall d = 3 \quad (34)$$

Disponibilidad de capacidad en la etapa de embotellado con tanda temporada

$$\sum_{i=1}^{31} E_d J_i + \sum_{j=1}^9 E_d S_{1j} + \sum_{j=1}^9 E_d S_{2j} \leq fecha_d; \forall d = 4, \dots, td_m + 1 \quad (35)$$

De la misma manera, para estar seguros que la etapa de embotellado de una tanda que se ejecuta en la fecha d+1 sea siguiente a la etapa de colado del mismo que se ejecuta en la fecha d, se definen las ecuaciones:

Correlación entre la etapa de colado y embotellado de una tanda de un Tónico

$$E_{d+1} J_i - F_d J_i \leq 0; \forall i = 1, \dots, 31; \forall d = 1, \dots, td_m \quad (36)$$

$$F_d J_i - E_{d+1} J_i \leq 0; \forall i = 1, \dots, 31; \forall d = 1, \dots, td_m \quad (37)$$

Correlación entre la etapa de colado y embotellado de una tanda de una Concentrado

$$E_{(d+1)} S_{1j} - F_d S_{1j} \leq 0; \forall j = 1, \dots, 9; \forall d = 2, \dots, td_m \quad (38)$$

$$F_d S_{1j} - E_{(d+1)} S_{1j} \leq 0; \forall j = 1, \dots, 9; \forall d = 2, \dots, td_m \quad (39)$$

Correlación entre la etapa de colado y embotellado de una tanda temporada de Concentrado

$$E_{(d+1)} S_{2j} - F_d S_{2j} \leq 0; \forall j = 1, \dots, 9; \forall d = 3, \dots, td_m \quad (40)$$

$$F_d S_{2j} - E_{(d+1)} S_{2j} \leq 0; \forall j = 1, \dots, 9; \forall d = 3, \dots, td_m \quad (41)$$

El responsable de la planta ha recomendado que se trate de evitar la programación en fechas seguidas, mejor dicho, en fecha d y fecha d+1, dos elementos a producir cuya dimensión de tanda (TL) sobrepase las 10,000 unidades, por restricciones de capacidad de las jabs de apilamiento. En el Cuadro 19 se detallan los elementos a producir que sobrepasan las 10,000 unidades en dimensión de tanda.

Cuadro 19 Productos con TL mayor a 10,000 unid

ID	Descripción	Presentación	Tamaño de tanda
J1	Tónico 1	15 mi	12545 unid
J5	Tónico 5	10 mi	19602 unid
J7	Tónico 7	60 mi	14702 unid
38	Tónico 8	60 mi	14702 unid
321	Tónico 21	60 mi	14702 unid
J22	Tónico 22	60 mi	14702 unid
324	Tónico 24	30 mi	11761 unid
329	Tónico 29	15 mi	12545 unid
J30	Tónico 30	15 mi	13068 unid

Fuente: La Empresa (2013)

Para estar seguros del cumplimiento de lo detallado en líneas anteriores, se define la ecuación:

$$E_d J_3 + E_d J_8 + E_d J_{18} + E_d J_{21} + E_{d+1} J_3 + E_{d+1} J_7 + E_{d+1} J_8 + E_{d+1} J_{18} + E_{d+1} J_{21} + E_{d+1} J_{22} \leq 0 ; \forall d=2, \dots, t_m. \quad (42)$$

Para toda tanda es asignada una cantidad de envases similar a la dimensión de la tanda más un 2% por las botellas a mermar por defectos. Se tiene 26 clases de frascos para los 40 elementos a producir existentes por lo que una clase de envase puede usarse para varios elementos a producir. El detalle elemento a producir-frasco se muestra en el Cuadro 20.

Cuadro 20 Número de botellas por tanda de elemento a producir.

ID	Código de envase	Cantidad (unid/tanda)	ID	Código de envase	Cantidad (unid/tanda)
J1	BOT01	12,796	J21	BOT07	14,986
J2	BOT02	6,665	J22	BOT07	14,996
J3	BOTOS	6,665	J23	BOT13	4,999
J4	BOTG4	9,997	J24	BOT14	11,996
J5	BOTOS	19,994	J25	BOT15	6,248
J6	BOT06	7,998	J26	BOT16	4,999
J7	BOT07	14,996	J27	BOT17	2,499
J8	BOT07	14,996	J28	BOT06	9,997
J9	BOT08	4,999	J29	BOT18	12,796
J10	BOT09	5,554	J30	BOT19	13,329
J11	BOT10	4,999	J31	BOT20	2,999
J12	BOT10	4,999	S1	BOT21	2,399
J13	BOTOS	5,832	S2	ÉNV22	5,832
J14	BOT07	5,998	S3	BOT22	5,832
J15	BOT08	1,666	S4	BOT23	1,944
J16	BOT06	9,997	S5	BOT12	3,499
J17	BOT08	4,999	S6	BOT22	5,832
J18	BOT07	8,331	S7	BOT24	2,399
J19	BOT11	5,832	SS	BOT25	5,832
J20	BOT12	9,997	S9	BOT26	6,998

Fuente: La Empresa (2013)

Para determinar el número de frascos usados en toda tanda de elemento a producir se establece a v_{cesus_j} indicador de transformación de tanda a frascos para una tanda de la Concentrado j y v_{cejab_i} como indicador de transformación de tanda a frascos para una tanda del Tónico i y se define la ecuación:

$$E_{NU_z} v_{cejab_i} * JabP_i + v_{cesus_j} * SusP_j ; \forall w=1, \dots, 25. \forall i=1, \dots, 31. \forall j=1, \dots, 9. \quad (43)$$

Luego de embotellar el elemento a producir, sigue la etapa de embalado.

Etapa de embalado

La etapa de embalado está formada por las etapas de adherido de etiqueta y ubicación del elemento a producir en el embalaje final de presentación para entrega al os clientes; y ambos pueden realizarse en forma paralela. En el modelamiento se definen las siguientes variables binarias:

AdJi: opción de acomodar en la fecha d una tanda del Tónico i

Donde $d=3, \dots, t_{dm}+2$; $i=1, \dots, 31$.

A_dS_{1j}: opción de acomodar en la fecha d una tanda de la Concentrado j

Donde $d=4, \dots, t_{dm}+2$; $j=1, \dots, 9$.

A_dS_{2j}: opción de acomodar en la fecha d una tanda temporada de la Concentrado j

Donde $d=5, \dots, t_{dm}+2$; $j=1, \dots, 9$.

Las fechas más tempranas para el proceso de embalado son $d=3$ para las tandas de Tónicos, $d=4$ para las tandas de producción normal y $d=5$ para las tandas de Concentrados de producción en temporada; las fechas más tardías es $d=t_{dm}+2$ de todo elemento a producir. Detalle en los Cuadros 21, 22 y 23.

Cuadro 21 Fechas límites de embalado en Tónicos

Operación	Fecha 2	Fecha 2		Fecha $t_{dm}+1$	Fecha $t_{dm}+2$
Embotellado	E_{2J_3}			$T_{t_{dm}+1} J_{19}$	
Embalado		AgJ_3			$E_{t_{dm}+2} J_{19}$

Fuente: La Empresa (2013)

Cuadro 22 Fechas límites de embalado en concentrados

Operación	Fecha 2	Fecha 3	Fecha 4		Fecha t_{dm}	Fecha $t_{dm}+1$	Fecha $t_{dm}+2$
Colado	$F_2 S_{15}$				$F_{t_{dm}} S_{12}$	-	
Embotellado		$E_3 S_{15}$			-	$E_{t_{dm}+1} S_{12}$	
Embalado			$A_4 S_{15}$				$A_{t_{dm}+2} S_{12}$

Fuente: La Empresa (2013)

Cuadro 23 Fechas límites de embalado en tandas temporada

Operación	Fecha 2	Fecha 3	Fecha 4	Fecha 5		Fecha $t_{dm}-1$	Fecha t_{dm}	Fecha $t_{dm}+1$	Fecha $t_{dm}+2$
Colado	$F_2 S_{18}$	$F_3 S_{25}$				$F_{t_{dm}-1} S_{12}$	$F_{t_{dm}} S_{22}$		
Embotellado		$E_3 S_{15}$	$E_4 S_{25}$				$E_{t_{dm}} S_{12}$	$E_{t_{dm}+1} S_{22}$	
Embalado			$A_4 S_{15}$	$A_5 S_{25}$				$A_{t_{dm}+1} S_{12}$	$A_{t_{dm}+2} S_{22}$

Fuente: La Empresa (2013)

A la vez considerar como en las etapas antes detalladas, el embalado de una tanda se encuentra en función de que el área se encuentre libre o disponible, mejor dicho, del valor de que establecido para fecha_d. El tiempo de entrega de la etapa de embalado se cuantifica en fechas por tanda y es una fecha por cada tanda de Tónico y una fecha por cada tanda de Concentrado. Así mismo, si fecha_d= 1 solo es posible ejecutar el embalado de una tanda en cada fecha. En el modelamiento, se establecen las ecuaciones:

Disponibilidad de capacidad en la etapa de embalado sin tandas temporada

$$\sum_{i=1}^{31} A_d J_i \leq 1 ; \forall d = 3. \quad (44)$$

$$\sum_{i=1}^{31} A_d J_i + \sum_{j=1}^9 A_d S_{1j} \leq 1 ; \forall d = 4. \quad (45)$$

Disponibilidad de capacidad en la etapa de embalado con tandas temporada

$$\sum_{i=1}^{31} A_d J_i + \sum_{j=1}^9 A_d S_{1j} + \sum_{j=1}^9 A_d S_{2j} \leq 1 ; \forall d = 5, \dots, td_m + 2. \quad (46)$$

De la misma manera, para tener la seguridad que la etapa de embalado de una tanda que se ejecuta en la fecha $d+1$ sea consecutivo a la etapa de embotellado del mismo que se ejecuta en la fecha d , se definen las ecuaciones:

Correlación entre la etapa de embotellado y embalado de una tanda de un Tónico

$$A_{(d+1)J_i} - E_d J_i \leq 0 ; \forall i=1, \dots, 31 ; \forall d=2, \dots, td_m+1. \quad (47)$$

$$E_d J_i - A_{(d+1)J_i} \leq 0 ; \forall i=1, \dots, 31 ; \forall d=2, \dots, td_m+1. \quad (48)$$

Correlación entre la etapa de embotellado y embalado de una tanda de una Concentrado

$$A_{(d+1)S_{1j}} - E_d S_{1j} \leq 0 ; \forall j=1, \dots, 9 ; \forall d=3, \dots, td_m+1. \quad (49)$$

$$E_d S_{1j} - A_{(d+1)S_{1j}} \leq 0 ; \forall j=1, \dots, 9 ; \forall d=3, \dots, td_m+1. \quad (50)$$

Correlación entre la etapa de embotellado y embalado de una tanda temporada de una Concentrado

$$A_{(d+1)S_{2j}} - E_d S_{2j} \leq 0 ; \forall j=1, \dots, 9 ; \forall d=4, \dots, td_m+1. \quad (51)$$

$$E_d S_{2j} - A_{(d+1)S_{2j}} \leq 0 ; \forall j=1, \dots, 9 ; \forall d=4, \dots, td_m+1. \quad (52)$$

Los gastos se consideran subdivididos en cuatro particiones: gasto de combinado, gasto de colado, gasto de embotellado y gasto de embalado. El gasto se hace efectivo al realizar la programación de una tanda de elemento a producir y se modifica dependiendo a la fecha en el que se considere en el programa. Si la ejecución en la programación se considera en fecha de semana (lunes a viernes) entonces el gasto es de tiempo normal, en cambio, si la ejecución de la programación se considera en un fin de semana (sábado o domingo), entonces el gasto se define de tiempo adicional. Los tiempos adicionales pueden ser evitados, pero por el alto requerimiento de producto existente, debieran los tiempos adicionales a los normales ser utilizados para los elementos a producir con mayor rentabilidad.

En el Cuadro 24 se muestra el importe de salida de todos los elementos a producir y los gastos de cada etapa en tiempo normal (TN) y tiempo adicional (TE) para una tanda de cada producto. Estos valores de la data son variables no controladas en el modelamiento y para consideración en el modelo de la programación se establecen los siguientes parámetros:

P_{vjabi} : importe de salida del Tónico i

Donde $i=1, \dots, 31$.

P_{vsus_j} importe de salida de la Concentrado j

Donde $j=1, \dots, 9$.

$C_{pm_d J_i}$: gasto de combinar en la fecha d una tanda del Tónico i

Donde $i=1, \dots, 31$; $d=1, \dots, t_{d_m}$

$C_{pm_d S_{1j}}$ gasto de combinar en la fecha d una tanda de la Concentrado j

Donde $j=1, \dots, 9$; $d=1, \dots, t_{d_m}-1$.

$C_{pm_d S_{2j}}$ gasto de combinar en la fecha d una tanda temporada de la Concentrado j

Donde $j=1, \dots, 9$; $d=1, \dots, t_{d_m}-2$.

$C_{pf_d J_i}$: gasto de colar en la fecha d una tanda del Tónico i

Donde $i=1, \dots, 31$; $d=1, \dots, t_{d_m}$.

$C_{pf_d S_{1j}}$: gasto de colar en la fecha d una tanda de la Concentrado j

Donde $j=1, \dots, 9$; $d=2, \dots, t_{d_m}$.

$C_{pf_d, S_{2j}}$ gasto de colar en la fecha d una tanda temporada de la Concentrado j

Donde $j=1, \dots, 9$; $d=3, \dots, t_{d_m}$.

$C_{pe_d J_1}$: gasto de embotellar en la fecha d una tanda del Tónico i

Donde $i=1, \dots, 31$; $d=2, \dots, t_{d_m}+1$.

$C_{pe_d S_{1j}}$: gasto de embotellar en la fecha d una tanda de la Concentrado j

Donde $j=1, \dots, 9$; $d=3, \dots, t_{d_m}+1$.

$C_{pe_d S_{2j}}$: gasto de embotellar en la fecha d una tanda temporada de la Concentrado j

Donde $j=1, \dots, 9$; $d=4, \dots, t_{d_m}+1$.

$C_{pa_d J_i}$: gasto de acomodar en la fecha d una tanda del Tónico i

Donde $i=1, \dots, 31$; $d=3, \dots, t_{d_m}+2$.

$C_{pa_d S_{1j}}$: gasto de acomodar en la fecha d una tanda de la Concentrado j

Donde $j=1, \dots, 9$; $d=4, \dots, t_{d_m}+2$.

$C_{pa_d S_{2j}}$: gasto de acomodar en la fecha d una tanda temporada de la Concentrado j

Donde $j=1, \dots, 9$; $d=5, \dots, t_{d_m}+2$.

Cuadro 24 Importe de salida y gastos de operación por tanda de producto

ID	PV (S/.)	Mz In (S/.)	Mz Te (S/.)	Fr Tn (S/.)	Fr Tn (S/.)	En Tn (S/.)	En Te (S/.)	Ac Tn (S/.)	Ac Te (S/.)
J1	24086	7025	7728	3011	3312	4014	4415	6022	6624
J2	3450	1006	1107	432	475	575	633	862	948
J3	14584	4254	4679	1823	2005	2431	2674	3645	4010
J4	18936	5523	6075	2367	2604	3156	3472	4734	5207
J5	41400	13173	13832	5845	5927	7527	7903	11291	11856
J6	7417	2360	2478	1012	1063	1349	1416	2022	2123
J7	35504	10806	11670	4631	5001	6175	6669	9261	10002
J8	34152	10394	11226	4455	4811	5939	6414	8909	9622
J9	14709	4477	4835	1918	2071	2558	2763	3837	4144
J10	43018	13092	14139	5612	6081	7481	8079	11222	12120
J11	17865	5437	5872	2331	2517	3107	3356	4660	5033
J12	17020	5180	5694	2220	2398	2960	3197	4440	4795
J13	16740	4883	5371	2092	2301	2790	3069	4185	4604
J14	14,184	4,137	4,551	1,773	1,950	2,364	2,600	3,546	3,901
J15	8,880	2,590	2,849	1,110	1,221	1,480	1,628	2,220	2,442
J1S	23,640	6,895	7,585	2,955	3,251	3,940	4,334	5,910	6,501
J17	15,701	4,579	5,037	1,963	2,159	2,617	2,879	3,925	4,318
vi 18	20,778	6,060	6,566	2,598	2,858	3,463	3,809	5,194	5,713
J19	14,407	4,202	4,622	1,801	1,981	2,401	2,641	3,602	3,962
J20	26,698	7,787	8,506	3,337	3,671	4,450	4,895	6,674	7,341
J21	35,107	10,240	11,264	4,388	4,827	5,851	6,436	8,777	9,655
J22	36,695	10,703	11,773	4,587	5,046	6,116	6,728	9,173	10,090
J23	15,255	4,854	5,097	2,080	2,184	2,774	2,913	4,160	4,368
J24	39,359	11,979	12,937	5,134	5,545	6,845	7,393	10,267	11,088
J25	40,295	12,264	13,245	5,256	5,676	7,008	7,569	10,511	11,352
J26	15,328	4,665	5,038	2,000	2,160	2,666	2,379	3,998	4,318
J27	21,359	6,501	7,021	2,786	3,009	3,715	4,012	5,571	6,017
J28	23,895	7,272	7,854	3,117	3,366	4,156	4,488	6,233	6,732
329	35,058	10,670	11,524	4,573	4,939	6,097	6,585	9,145	9,877
J30	26,450	8,050	8,694	3,450	3,726	4,600	4,968	6,900	7,452
J31	49,334	15,015	16,216	6,435	6,950	8,580	9,266	12,869	13,899
S1	15,365	4,676	5,050	2,005	2,165	2,672	2,886	4,008	4,329
S2	20,250	6,163	6,656	2,642	2,853	3,522	3,804	5,282	5,705
S3	24,262	7,384	7,975	3,165	3,418	4,219	4,557	6,329	6,835
S4	11,922	3,628	3,918	1,556	1,680	2,073	2,239	3,110	3,359
S5	13,955	4,070	4,477	1,745	1,920	2,326	2,559	3,438	3,837
S6	15,917	4,642	5,106	1,990	2,189	2,653	2,918	3,979	4,377
S7	15,130	4,413	4,854	1,891	2,080	2,522	2,774	3,782	4,160
S8	18,936	5,523	6,075	2,367	2,604	3,156	3,472	4,734	5,207
S9	23,464	6,844	7,528	2,933	3,226	3,911	4,302	5,865	6,452

Ji: Tónico i, Sj: Concentrado j, Mz: combinar, Fr: colar, En: Embotellar, Ac: acomodar

Fuente: La Empresa (2013)

En el caso de que se ejecute la elaboración en temporada, se tiene un ahorro que se vería en el decrecimiento de los gastos de combinado. Los nuevos gastos para la tanda temporada se muestran en el Cuadro 25 Estas cantidades se cargan en el parámetro Cpm_dS_2j establecido anteriormente.

Cuadro 25 Gasto de combinado de producción en tanda temporada

ID	Mz Tn (S/.)	Mz Te (S/.)	Ahorro Tn (S/.)	Ahorro Te (S/.)
S1 tanda 2	4,208	4,545	468	505
S2 tanda 2	5,547	5,990	616	666
S3 tanda 2	6,646	7,178	738	797
S4 tanda 2	3,265	3,526	363	392
S5 tanda 2	3,663	4,029	407	448
S6 tanda 2	4,178	4,595	464	511
S7 tanda 2	3,972	4,369	441	485
S8 tanda 2	4,971	5,468	551	607
S9 tanda 2	6,160	6,775	684	753

Fuente: La Empresa (2013)

Para la definición de la función objetivo se considera las siguientes formas:

La Suma de gastos de producción:

$$\left(\text{Costo de producción} \right) = \left(\text{Costo de Mezclar} \right) + \left(\text{Costo de envasar} \right) + \left(\text{Costo de acondicionar} \right) \quad (53)$$

El ingreso obtenido por la venta:

$$\left(\text{ingresos} \right) = \left(\text{Precio venta de un lote de Tónico} \right) + \left(\text{Precio venta de un lote de Concentrado} \right) + \left(\text{Cantidad de lotes de Concentrados producidos} \right) \quad (54)$$

La utilidad obtenida:

$$\left(\text{utilidad} \right) = \left(\text{Ingresos} \right) - \left(\text{Gasto de producción} \right) \quad (55)$$

Para el modelamiento realizado se quiere llegar a un programa de fabricación que indique la fecha en que se ejecutará el combinado, colado, embotellado y embalado de los elementos a producir tal que se obtenga la mayor utilidad por cada tanda de elemento a producir. Por lo cual se debe considerar en este modelamiento la prioridad para atender a los compradores y, así mismo, la necesidad de producto, los materiales libres y la posibilidad que se tiene de producir de fechas de fabricación que se tienen en todo el periodo (un mes). En base a lo enunciado se establece la función objetivo siguiente:

$$\text{Minimizar } Z = P_1 * U_1 + P_2 * U_2 + P_3 * U_3 \quad (56)$$

Los objetivos por categoría de importancia son:

1. Lograr la mayor utilidad sin gastos fijos considerando solamente los elementos a producir del comprador LLPP.
2. Lograr la mayor utilidad sin gastos fijos considerando solamente los elementos a producir del comprador *retail*.

3. Lograr la mayor utilidad sin gastos fijos considerando solamente los elementos a producir del comprador Terceros

En donde:

$$P_1 \gg P_2 \gg P_3 \quad (57)$$

Además, para cada comprador se busca lo siguiente:

Lograr la mayor utilidad sin gastos fijos considerando solamente los elementos a producir del comprador LLPP.

$$\begin{aligned} & (Pvjab_i * JabP_i) + (Pvus_j * SusP_j) - \sum_{d=1}^{td_m} (Cpm_d J_i * M_d J_i) - \sum_{d=1}^{td_m-1} (Cpm_d S_{1j} * M_d S_{1j}) \\ & - \sum_{d=1}^{td_m-2} (Cpm_d S_{2j} * M_d S_{2j}) - \sum_{d=1}^{td_m-1} (Cpf_d J_i * F_d J_{1j}) - \sum_{d=2}^{td_m} (Cpf_d S_{1j} * F_d S_{1j}) \\ & - \sum_{d=3}^{td_m} (Cpf_d S_{2j} * F_d S_{2j}) - \sum_{d=2}^{td_m+1} (Cpe_d J_i * E_d J_i) - \sum_{d=3}^{td_m+2} (Cpe_d S_{1j} * E_d S_{1j}) \\ & - \sum_{d=4}^{td_m+1} (Cpe_d S_{2j} * E_d S_{2j}) + \sum_{d=3}^{td_m+1} (Cpe_d J_i * A_d J_i) - \sum_{d=4}^{td_m+2} (Cpa_d S_{1j} * A_d S_{1j}) \\ & - \sum_{d=5}^{td_m+2} (Cpa_d S_{2j} * A_d S_{2j}) + U_1 - V_1 = M; \forall i = 7, \dots, 12, 24, \dots, 31; \forall j = 1, \dots, 4.. \end{aligned} \quad (58)$$

Lograr la mayor utilidad sin gastos fijos considerando solamente los elementos a producir del comprador *retail*.

$$\begin{aligned} & (Pvjab_i * JabP_i) + (Pvus_j * SusP_j) - \sum_{d=1}^{td_m} (Cpm_d J_i * M_d J_i) - \sum_{d=1}^{td_m-1} (Cpm_d S_{1j} * M_d S_{1j}) \\ & - \sum_{d=1}^{td_m-2} (Cpm_d S_{2j} * M_d S_{2j}) - \sum_{d=1}^{td_m-1} (Cpf_d J_i * F_d J_{1j}) - \sum_{d=2}^{td_m} (Cpf_d S_{1j} * F_d S_{1j}) \\ & - \sum_{d=3}^{td_m} (Cpf_d S_{2j} * F_d S_{2j}) - \sum_{d=2}^{td_m+1} (Cpe_d J_i * E_d J_i) - \sum_{d=3}^{td_m+2} (Cpe_d S_{1j} * E_d S_{1j}) \\ & - \sum_{d=4}^{td_m+1} (Cpe_d S_{2j} * E_d S_{2j}) + \sum_{d=3}^{td_m+1} (Cpe_d J_i * A_d J_i) - \sum_{d=4}^{td_m+2} (Cpa_d S_{1j} * A_d S_{1j}) \\ & - \sum_{d=5}^{td_m+2} (Cpa_d S_{2j} * A_d S_{2j}) + U_2 - V_2 = M; \forall i = 1, \dots, 4, 13, \dots, 22; \forall j = 5, \dots, 9.. \end{aligned} \quad (59)$$

Lograr la mayor utilidad sin gastos fijos considerando solamente los elementos a producir del comprador Terceros

$$\begin{aligned} & (Pvjab_i * JabP_i) - \sum_{d=1}^{td_m-2} (Cpm_d S_i * M_d J_i) - \sum_{d=1}^{td_m} (Cpf_d J_i) - \sum_{d=2}^{td_m+1} (Cpe_d J_i * E_d J_i) \\ & - \sum_{d=3}^{td_m+2} (Cpa_d J_i * A_d J_i) + U_3 - V_3 = M; \forall i = 5, 6, 23. \end{aligned} \quad (60)$$

Para el modelamiento se considera el calendario del departamento de producción que se muestra en el Cuadro 26. En el calendario se toma en cuenta 7 fechas a la semana; desde la fecha lunes hasta el viernes se labora como tiempo normal, y las fechas sábados y domingos se laboran como tiempo adicional.

Cuadro 26 Calendario usado para la programación

Mes	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	Mes
Enero	-	4	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	
	28	29	30	31	1	2	3	4	6	6	7	8	9	10	Febrero
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24		
Marzo	25	26	27	28	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
	25	26	27	28	29	30	31	1	2	3	4	5	6	7	Abril
8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21		
Mayo	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	
	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	-	-	

Fuente: La Empresa (2013)

Para todo periodo se cuenta con un número determinado de fechas para fabricar (td_m). En el calendario se han eliminado las fechas en que el departamento de producción no se encuentra disponible para operar por intervención de mantenimiento y feriados no trabajables. En el Cuadro 27 se detalla un resumen de las fechas consideradas.

Cuadro 27 Resumen del calendario

Mes de fabricación	Total de fechas en el mes	Fechas operativas en turno normal	Fechas operativas en turno extra
Enero-2013	31	16	8
Febrero-2013	28	7	2
Marzo-2013	31	18	8
Abril-2013	30	22	8
Mayo-2013	31	18	6

Fuente: La Empresa (2013)

1.1.3 Conclusiones del modelo

De acuerdo al autor Pacoricuna del caso práctico número uno, el programa de producción planteado por el modelo matemático permite obtener una mayor utilidad con respecto al programa establecido por la Empresa. A la vez:

- El modelamiento planteado nos permite tener un programa considerando los turnos normales y turnos adicionales que disponemos para todos los meses de producción y a la vez nos facilita visualizar el *stock* de insumos y botellas con que se cuentan.
- El modelamiento planteado nos permite la toma de decisiones en las áreas de planificación, producción y empaque. Al área de planificación le permitirá a conocer el número de tandas de elementos a producir que se atenderán y el nivel de *stocks* en los almacenes disponibles al final del periodo (un mes). A las áreas de producción y empaque les permitirá realizar una programación con la asignación de los trabajadores en los turnos adicionales.
- El modelamiento realizado podrá realizar la simulación de la programación de la producción, si se doblara la capacidad del área de producción y envasado. Así mismo, de tener alguna modificación en la fórmula de los elementos a producir, se calcularía por simulación la nueva situación de *stocks* de insumos y botellas.

Se utilizará un planteamiento similar para la elaboración del modelo a trabajar, considerando restricciones por procesos: elaboración, envasado, etc., pero con la consideración de una planta en trabajo de producción continua y no por tandas. También el modelo planteado permitiría simular diferentes escenarios de producción, en base a la modificación de las restricciones establecidas.

1.2 Caso práctico empresa siderúrgica

El caso práctico 2 se titula “programación de producción en empresa siderúrgica usando programación lineal entera mixta”, es una tesis de Licenciatura de ciencias e ingeniería de ROCA SILVA, Enrique Abel del año 2019. A continuación, se hará una breve descripción de este caso.

1.2.1 Introducción

Este caso detallaremos el desarrollo del modelamiento de programación lineal entera mixta que hará posible llegar al *mix* de carga metálica de menor gasto alcanzable, con el fin de disminuir los gastos de producción a la fecha en el departamento de Acería.

1.2.2 Formulación del modelo.

Mediante la aplicación de la investigación de operaciones, buscando la producción de una mezcla de insumos óptimo y su posterior llenado al modelo. Se quiere la implementación de este modelo definido para enfocarse en los temas críticos presentados al programar en la planta:

- Existen deficiencias en el lanzamiento de la programación por periodo de la planta., ya que se tiene tiempos muertos identificados en fechas de producción, esto al programar calidades y cantidades de productos a elaborar. El tiempo perdido se carga y se disipa en las ordenes producidas. Basados en el conocimiento del personal encargado de la programación, quien maneja estos excedentes como colchón para poder enfrentar contingencias que se presenten a posterior, no se programa al cien por ciento la capacidad de la línea, teniendo por supuesto horas perdidas dentro de varias fechas.
- De acuerdo a lo indicado, la experiencia de la persona encargada fija la mezcla a trabajar en la Planta. No tienen conocimiento ni utilizan un programa que les permita buscar óptimo en el número y calidad de materia prima para la producción diaria. Se trabaja con una hoja simple de Excel, la cual solo registra los datos cargados por el responsable de acuerdo a los porcentajes de mezcla a producir para determinadas producciones, considerando el conocimiento obtenido de anteriores producciones (rendimiento de cantidades y calidad) cada de acuerdo a especificaciones, *stocks* y gasto que ya se manejan en el historial.
- Es sumamente importante el escoger las distintas proporciones de las cantidades y calidades del material, para el apropiado establecimiento de la mezcla a utilizar. De acuerdo a los datos acumulados si bajamos en uno por ciento el rendimiento del material ocasiona directamente un aumento de la cantidad requerida de electricidad (10 kWh/Tm de material en estado líquido) Este consumo de energía se utiliza para la licuefacción de compuestos no ferrosos presentes en los materiales (chatarra). Otros componentes no ferrosos como aceites, plásticos o madera producen un aporte de energía al ocasionar reacciones exotérmicas. Compuestos como el Fe₃O₄ (óxido con alto punto de licuefacción) aumentan el consumo energético en 13 kWh/Tm de material líquido por cada uno por ciento en peso de este óxido presente en el material utilizado. El H₂O contenido en el material aumenta el consumo de energía en 6 kWh/Tm de acero líquido por cada 1% en peso de H₂O entregado con el material, debido a esto se tiene que el consumo de energía se verá afectado de acuerdo al clima.
- Por otro lado, las características de tamaño y de los materiales que se suministran al horno inciden directamente respecto a los tiempos de licuefacción y, por lo tanto, al gasto de energía al interior del horno eléctrico. De acuerdo a esto se tiene como dimensión óptima las que se encuentren entre cien y mil milímetros. Y a la vez una relación de masa sobre volumen de 0.6 y 0.9 Tm/m³.

- La Ubicación de los materiales en los contenedores dentro del horno inciden directamente a la relación entre la licuefacción por radiación y la licuefacción por convección en el baño, dependiendo también de la posición respecto al piso de los contenedores que se dejan vacíos. Por lo cual, la ubicación debe ser: el material más pesado en la parte inferior y el menos pesado en la parte superior minimizando así el gasto energético, debido a que esto puede ocasionar fluctuaciones de hasta 20 kWh/Tm de material líquido.
- Mayor duración en el lapso de colada da como resultado un incremento en el gasto de electricidad, debido a esto debemos disminuir los espacios de tiempo de calentamiento, y a la vez los retrasos que estos conllevan. Ya que, el consumo de electricidad aumenta con respecto a la licuefacción comparado al consumo en el calentamiento, demoras a lo largo de la segunda fase da como resultado aproximadamente 0.4 kWh/Tm por minuto y mientras que durante el calentamiento supone 1.7 kWh/Tm por minuto. Escoger apropiadamente los materiales que se utilizaran en la mezcla de carga permitirá lograr reducir el tiempo de licuefacción en el horno eléctrico.

De acuerdo a lo mencionado, el más grande efecto que ocasiona una debida separación de materiales como parte de la configuración de la mezcla de carga será una eficiencia considerable en el gasto de materiales y mejora de eficiencia de las coladas, así como una reducción del gasto de energía eléctrica al interior del horno de licuefacción. Adicional, al utilizar materiales de carga cuyas composiciones químicas contengan los principales componentes de las calidades que serán producidas, podría suponer un menor empleo de ferroaleaciones en el proceso de afino en el horno cuchara, al ser menores las fluctuaciones respecto a la composición requerida para cada calidad.

Variables de decisión

- X_{1aj} = volumen en miles de kilos del insumo a (tipo 1) consumida para producir una tanda del elemento a producir j
 a : indicador del insumo tipo 1. $a = 1, 2, \dots, A$ (A cantidad total de este tipo de insumos).
 j : indicador de producto, $j = 1, 2, \dots, J$ (J cantidad de elementos a producir que serán producidos en el horizonte de planificación).
- X_{2bj} = volumen en miles de kilos del insumo b (tipo 2) consumidas para producir una tanda del elemento a producir j .
 b : indicador del insumo tipo 2. $b = 1, 2, \dots, B$ (B cantidad total de este tipo de insumos).
 j : indicador de tanda $j = 1, 2, \dots, J$,
- X_{3cj} = volumen en miles de kilos del insumo c (tipo 3) consumidas para producir una tanda del elemento a producir j .
 c : indicador del insumo tipo 3. $c = 1, 2, \dots, C$ (C cantidad total de este tipo de insumos).
 j : indicador de tanda $j = 1, 2, \dots, J$.

- $X4_{dj}$ = volumen en miles de kilos del insumo d (tipo 4) consumidas para producir una tanda del elemento a producir j .
 d : indicador del insumo tipo 4. $d=1, 2, \dots, D$ (D cantidad total de este tipo de insumos).
 j : indicador de tanda $j=1, 2, \dots, J$.
- $X6_{fj}$ = volumen en miles de kilos del insumo f (tipo 6) consumidas para producir una tanda del elemento a producir j .
 f : indicador del insumo tipo 6. $f=1, 2, \dots, F$ (F cantidad total de este tipo de insumos).
 j : indicador de tanda $j=1, 2, \dots, J$.
- $X7_{gj}$ = volumen en miles de kilos del insumo g (tipo 7) consumidas para producir una tanda del elemento a producir j .
 g : indicador del insumo tipo 7. $g=1, 2, \dots, G$ (G cantidad total de este tipo de insumos).
 j : indicador de tanda $j=1, 2, \dots, J$.
- $X8_{gj}$ = volumen en miles de kilos del insumo h (tipo 8) consumidas para producir una tanda del elemento a producir j .
 h : indicador del insumo tipo 8. $h=1, 2, \dots, H$ (H cantidad total de este tipo de insumos).
 j : indicador de tanda $j=1, 2, \dots, J$.
- $X9_{ij}$ = volumen en miles de kilos del insumo i (tipo 9) consumidas para producir una tanda del elemento a producir j .
 i : indicador del insumo tipo 9. $i=1, 2, \dots, I$ (I cantidad total de este tipo de insumos).
 j : indicador de tanda $j=1, 2, \dots, J$.
- $X10_{kj}$ = volumen en miles de kilos del insumo k (tipo 10) consumidas para producir una tanda del elemento a producir j .
 k : indicador del insumo tipo 10. $k=1, 2, \dots, K$ (K cantidad total de este tipo de insumos).
 j : indicador de tanda $j=1, 2, \dots, J$.

Parámetros

Coefficientes de valor de importe en moneda extranjera (dólares)

- $CX1_a$ = valor de importe en moneda extranjera del insumo a (tipo 1).
 $CX2_b$ = valor de importe en moneda extranjera del insumo b (tipo 2).
 $CX3_c$ = valor de importe en moneda extranjera del insumo c (tipo 3).
 $CX4_d$ = valor de importe en moneda extranjera del insumo d (tipo 4).
 $CX5_e$ = valor de importe en moneda extranjera del insumo e (tipo 5).
 $CX6_f$ = valor de importe en moneda extranjera del insumo f (tipo 6).
 $CX7_g$ = valor de importe en moneda extranjera del insumo g (tipo 7).
 $CX8_h$ = valor de importe en moneda extranjera del insumo h (tipo 8).

CX9_i = valor de importe en moneda extranjera del insumo *i* (tipo 9).

CX10_k - valor de importe en moneda extranjera del insumo *k* (tipo 10),

Coeficientes de contribución

RX1_a = % de contribución del insumo a (clase 1).

RX2_b = % de contribución del insumo b (clase 2).

RX3_c = % de contribución del insumo c (clase 3).

RX4_d = % de contribución del insumo d (clase 4).

RX5_e = % de contribución del insumo e (clase 5).

RX6_f = % de contribución del insumo f (clase 6).

RX7_g = % de contribución del insumo g (clase 7).

RX8_h = % de contribución del insumo h (clase 8).

RX9_i = % de contribución del insumo i (clase 9).

RX10_k = % de contribución del ingrediente k (clase 10).

Coeficientes de composición química

QX1_{a,p} = % del elemento industrial p que lleva el insumo a (clase 1).

QX2_{b,p} = % del elemento industrial p que lleva el insumo b (clase 2).

QX3_{c,p} = % del elemento industrial p que lleva el insumo c (clase 3).

QX4_{d,p} = % del elemento industrial p que lleva el insumo d (clase 4).

QX5_{e,p} = % del elemento industrial p que lleva el insumo e (clase 5).

QX6_{f,p} = % del elemento industrial p que lleva el insumo f (clase 6).

QX7_{g,p} = % del elemento industrial p que lleva el insumo g (clase 7).

QX8_{h,p} = % del elemento industrial p que lleva el insumo h (clase 8).

QX9_{i,p} = % del elemento industrial p que lleva el insumo / (clase 9).

QX10_{k,p} = % del elemento industrial p que lleva el insumo k (clase 10).

Límites de composición química

$TS_{j,p}$ = cantidad máxima permitida en % del componente químico p para producir el tanda del elemento a producir *j* en el tiempo de planificación.

p: indicador de componentes químicos requeridos para el tanda *j*. $p = 1, 2, \dots, P$.

Límites de consumo por grupo de insumos

LIX_n = mínimo consumo total en miles de kilos del conjunto de insumos de la clase n para todo el tiempo de planificación.

n : indicador de clase de insumo, $n = 1, 2, \dots, N$ (N indica el número total de clases insumos).

LSX_n = máximo consumo total en miles de kilos del grupo de insumos de la clase n para todo el tiempo de planificación.

n : indicador de clase de insumo, $n = 1, 2, \dots, N$

Disponibilidad de insumos

$SX1_a$ = cantidad de miles de kilos del insumo a (clase 1) para consumo en el tiempo de planificación.

$SX2_b$ = cantidad de miles de kilos del insumo b (clase 2) para consumo en el tiempo de planificación,

$SX3_c$ = cantidad de miles de kilos del insumo c (clase 3) para consumo en el tiempo de planificación.

$SX4_d$ = cantidad de miles de kilos del insumo d (clase 4) para consumo en el tiempo de planificación.

$SX5_e$ = cantidad de miles de kilos del insumo e (clase 5) para consumo en el tiempo de planificación.

$SX6_f$ = cantidad de miles de kilos del insumo f (clase 6) para consumo en el tiempo de planificación.

$SX7_g$ = cantidad de miles de kilos del insumo g (clase 7) para consumo en el tiempo de planificación.

$SX8_h$ = cantidad de miles de kilos del insumo h (clase 8) para consumo en el tiempo de planificación.

$SX9_i$ = cantidad de miles de kilos del insumo i (clase 9) para consumo en el tiempo de planificación.

$SX10_k$ = cantidad de miles de kilos del insumo k (clase 10) para consumo en el tiempo de planificación.

Constantes de lado derecho

Y_j = número de tandas a producir del elemento a a producir j en el tiempo de planificación.

M_j = tamaño de la tanda de producción del elemento a a producir j en el tiempo de planificación.

Z = capacidad de horno de licuefacción.

Función objetivo

Minimizar

$$\begin{aligned} & \sum_{a=1}^A \sum_{j=1}^J (CX1_a)(X1_{a,j})(Y_j) + \sum_{b=1}^B \sum_{j=1}^J (CX2_b)(X2_{b,j})(Y_j) + \sum_{c=1}^C \sum_{j=1}^J (CX3_c)(X3_{c,j})(Y_j) \\ & + \sum_{d=1}^D \sum_{j=1}^J (CX4_d)(X4_{d,j})(Y_j) + \sum_{e=1}^E \sum_{j=1}^J (CX5_e)(X5_e)(Y_j) + \sum_{f=1}^F \sum_{j=1}^J (CX6_f)(X6_{f,j})(Y_j) \\ & + \sum_{g=1}^G \sum_{j=1}^J (CX7_g)(X7_{g,j})(Y_j) + \sum_{h=1}^H \sum_{j=1}^J (CX8_h)(X8_{h,j})(Y_j) + \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J (CX9_i)(X9_{i,j})(Y_j) \\ & + \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J (CX10_k)(X10_{k,j})(Y_j) \end{aligned}$$

(61)

Comentarios informativos

1. Respecto a la búsqueda de mínimos de gastos:

De acuerdo a la ecuación establecida, queremos obtener como objetivo primordial la minimización de los gastos de fabricar distintas características de acero fluido en la zona de acería en un lapso establecido de tiempo. En función a esto, tomamos como punto de partida la ecuación objetivo planteada en el modelamiento de Kim y Lewis (1987), debido a que es la que más se aproxima al escenario planteado

2. Acerca de las clases de ingredientes:

En el modelamiento de Kim y Lewis (1987) se considera como materiales las materias primas adquiridas, los trozos de metal adquirido y los trozos de metal interno; para el caso en estudio, en la fabricación de la mezcla de carga metálica de la Acería se considera los insumos de acuerdo a las siguientes clases:

- Clase uno. Trozos de metal seccionado local: que vienen a ser los trozos de metal que se adquiere en el comercio local y que internamente en la planta es expuesta a una etapa de preparación denominada seccionado de metálicos.
- Clase dos. Trozos de metal seccionado exterior: que vienen a ser los trozos de metal que se adquiere en el exterior del país, este material ya tiene un procesamiento previo en el lugar de donde provienen.
- Clase tres. Trozos de metal Heavy Melting: son los trozos de metal traída del exterior que por sus cualidades no es seccionable.
- Clase cuatro. Trozos de metal dividida: que vienen a ser los trozos de metal que se adquiere en el comercio local y que internamente en la fábrica atraviesa una etapa de preparación conocido como oxicorte.

- Clase cinco. Trozos de metal local de carga directa: que vienen a ser los trozos de metal que se adquiere en el comercio local y que por sus cualidades físicas se envían directamente a las cestas de consumo.
- Clase seis. Trozos de metal regional de carga directa: que vienen a ser los trozos de metal que vienen de nuestros vecinos chilenos y bolivianos, y que por sus propiedades físicas se envían directamente a las cestas de consumo.
- Clase siete. Hierro esponja local: es el hierro esponja producido en la planta de producción directa que tiene la Empresa.
- Clase ocho. Hierro esponja del mercado extranjero: que vienen a ser el hierro esponja que se adquiere en el extranjero.
- Clase nueve. Hierro metálico mermado: son los trozos de metal que se obtienen de la etapa de chancado de escoria internamente de planta.
- Clase diez. Trozos de metal de recobro: son los trozos de metal que se obtienen en los diferentes procesos de producción de la Empresa (acería, laminación, etc.).

Para el tema de estudio en el modelamiento, y de acuerdo a las variables antes detallada, se definen los siguientes valores: A=3, B=1, C=1, D=2, E=16, F=2, G=2, H=1, I=1 y K=3. En la Tabla 3.1 se muestran todos los insumos utilizados en la producción de acero y la clase de ingrediente al que pertenecen.

3. Con respecto a las clases de chatarra producidos al interior de la planta y recobrados de la etapa de chancado de mermado:

En el modelamiento de Kim y Lewis (1987) se establecen como la tercera clase de materiales a las clases de chatarra producidos a partir de la fabricación de ciertas tandas, y de los cuales una parte de estas será vuelta a consumir. Para el caso del modelamiento, tenemos tres de estos materiales. No obstante, el modelamiento de Kim y Lewis considera a esta clase de materiales como recirculantes, mejor dicho, que se utilizan al inicio conformando parte de una mezcla y luego son vueltos a utilizar en coladas subsiguientes. A diferencia de dicho modelamiento, el modelamiento no tomara en cuenta la característica recirculante de los insumos, ya que estos son conformados del conjunto de muchos restos que son juntados en un mismo almacén, por lo cual al realizar la mezcla entre ellos no se tiene la trazabilidad adecuada de a qué tanda perteneció en un tiempo inicial la merma producida, y por consiguiente la composición química que se utiliza es un estándar proporcionado por personal de la fábrica.

4. Acerca de los gastos de los insumos:

Los importes de todos los materiales utilizados en las distintas calidades de acero líquido fueron proporcionados por empleados con autorización de la Empresa Siderúrgica S.A. estos importes entregados están dados en moneda extranjera (\$) por tonelada de material y se estableció como importes incurridos para tener el material libre para la fabricación (adquisición, procesamiento, transpores, manipulación, etc.). Cabe resaltar que los precios son revisados y corregidos cada mes

por el departamento de Planificación de la Empresa, con el objetivo de ejecutar una proyección de los gastos de producción para el tiempo planificado.

Cuadro 28 Insumos que componen el mix de carga metálica

		N°	Descripción
ingredientes mix de carga metálica	Fragmentada nacional	1	Trozos de metal de tarros de leche compactada
		2	Trozos de metal de tarros de leche separado
		3	Trozos de metal fragmentada nacional
	Fragmentada Importada	4	Trozos de metal fragmentada importada
	Heavy Meiting	5	Trozos de metal heavy meiting 1y2 (80/20)
	Trozos de metal cortada	6	Trozos de metal pesada > ¼" (tipo "a") especial
		7	Trozos de metal cortada
	Trozos de metal nacional C/D	8	Trozos de metal viruta
		9	Trozos de metal liviana
		10	Trozos de metal de tarros de leche
		11	Trozos de metal pesada
		12	Trozos de metal preparada
		13	Trozos de metal de embutición
		14	Trozos de metal liviana compactada
		15	Trozos de metal de recorte industrial
		16	Recorte industrial compactado
		17	Trozos de metal compactada tercera
		18	Trozos de metal compactada embutición tipo "a"
		19	Magnético de recuperación fragmentadora
		20	Trozos de metal compactada paquete
		21	Trozos de metal de tarros de leche separado
		22	Trozos de metal maquila tubos
		23	Magnético recuperado PPRF
	Trozos de metal regional C/D	24	Trozos de metal pesada importada
		25	Trozos de metal paquete importado
	Hierro esponja nacional	26	Mezcla de hierro esponja de pellets
		27	Mezcla de hierro esponja de pelleta y mineral
	Hierro esponja importado	28	Hierro esponja importado (D.R.I.)
	Fierro metálico en escoria	29	Fierro metálico de escoria
	Trozos de metal recuperación	30	Trozos de metal recuperación producción acería
		31	Trozos de metal recuperación producción laminado
		32	Trozos de metal de recuperación de planta

Fuente: Siderúrgica S.A.

Restricciones

Ecuaciones de demanda y capacidad

Ecuaciones de tamaño de lote

$$\begin{aligned} & \sum_{a=1}^A (X1_{a,j}) (RX1_a) + \sum_{b=1}^B (X2_{b,j}) (RX2_b) + \sum_{c=1}^C (X3_{c,j}) (RX3_c) + \sum_{d=1}^D (X4_{d,j}) (RX4_d) \\ & + \sum_{e=1}^E (X5_{e,j}) (RX5_e) + \sum_{f=1}^F (X6_{f,j}) (RX6_f) + \sum_{g=1}^G (X7_{g,j}) (RX7_g) + \sum_{h=1}^H (X8_{h,j}) (RX8_h) \\ & + \sum_{i=1}^I (X9_{i,j}) (RX9_i) + \sum_{k=1}^K (X10_{k,j}) (RX10_k) = M_j, \text{ para todo } j \end{aligned} \quad (62)$$

Ecuaciones de capacidad del horno

$$\begin{aligned} & \sum_{a=1}^A (X1_{a,j}) (RX1_a) + \sum_{b=1}^B (X2_{b,j}) (RX2_b) + \sum_{c=1}^C (X3_{c,j}) (RX3_c) + \sum_{d=1}^D (X4_{d,j}) (RX4_d) \\ & + \sum_{e=1}^E (X5_{e,j}) (RX5_e) + \sum_{f=1}^F (X6_{f,j}) (RX6_f) + \sum_{g=1}^G (X7_{g,j}) (RX7_g) + \sum_{h=1}^H (X8_{h,j}) (RX8_h) \\ & + \sum_{i=1}^I (X9_{i,j}) (RX9_i) + \sum_{k=1}^K (X10_{k,j}) (RX10_k) \leq Z, \text{ para todo } j \end{aligned} \quad (63)$$

Comentarios informativos

1. Sobre la variable M_j y Z :

En el modelamiento de Kim y Lewis (1987) se especifica que no en todas las ocasiones se utiliza horno de licuefacción a máxima capacidad. Lo cual nos da como resultado que si el requerimiento del lote j es menor que lo que puede procesar el horno de licuefacción, $M_{j,k}$ indicará la cantidad requerida; en su lugar, nos indicaría la capacidad del horno de licuefacción, pues la carga total no puede ser mayor a la capacidad del horno de licuefacción.

2. Sobre la capacidad y demanda:

En la fábrica donde se desarrolla el caso analizado, se quiere lograr la mayor la utilización de la capacidad del horno de licuefacción, ya que se tiene libre solamente un horno para atender 3 fábricas laminadoras (el requerimiento no atendido de las laminadoras se cubre con la compra de producto semi terminado) es imprescindible que se produzca a la mayor capacidad posible. Se tiene como dato que una colada utilizando la mayor de las capacidades del horno llega a entregar en promedio sesenta toneladas de acero líquido.

El requerimiento por todas las clases de calidad de acero líquido se establecerá como una entrada en el modelamiento planteado, el cual será realizado por la programación que ejecuta el área de planeamiento y control de la producción de la Empresa, para de esta manera lograr cubrir con las necesidades del programa de Laminación. Para el modelamiento establecido, se asume que todos

los elementos a producir en el período de planificación se producirán en tandas de sesenta toneladas, mejor dicho, que, para cada j , $M_j = 60$.

También, la disposición de carga no tendrá que estar por encima de la capacidad del horno. Conforme a lo indicado en el capítulo anterior, para la producción de una tanda o colada de acero líquido se abastecen 2 contenedores de treinta y cinco toneladas, por lo que consideraremos que la mezcla de carga para toda tanda a producir no sobrepasará las 70 toneladas ($Z=70$).

3. Sobre los parámetros RX1a, RX2b, RX3C, RX4d, RX5e, RX6f, RX7g, RX8h, RX9i y RX10k, El uso de los parámetros UPi, USi y Uhm en el modelamiento de Kím y Lewis menciona el % de uso de los materiales utilizados para la producción de una tanda específica. No obstante, se considera mejor modificar el término de utilización a rendimiento, ya que el concepto empleado indica lo que ocurre al interior del horno de licuefacción producto de las reacciones que ahí se realizan. Por rendimiento se considera que, al suministrar cierta cantidad de materiales al horno de licuefacción, la suma de los pesos de estos elementos no obligatoriamente será igual al peso final del elemento a producir requerido, debido a que la mayoría de los materiales se consumen en el procesamiento en forma de vapores o residual. Debido a esto, se establece el empleo del término rendimiento para considerar las variables RX1a, RX2b, RX3C, RX4d, RX5e, RX6f, RX7g, RX8h, RX9i y RX10k,

Restricciones de disponibilidad de insumos

Ecuaciones de disponibilidad para los insumos de clase 1

$$\sum_{j=1}^J (X1_{a,j}) (Y_j) \leq SX1_a, \text{ para todo } a \quad (64)$$

Ecuaciones de disponibilidad para los insumos de clase 2

$$\sum_{j=1}^J (X2_{b,j}) (Y_j) \leq SX2_b, \text{ para todo } b \quad (65)$$

Ecuaciones de disponibilidad para los insumos de clase 3

$$\sum_{j=1}^J (X3_{c,j}) (Y_j) \leq SX3_c, \text{ para todo } c \quad (66)$$

Ecuaciones de disponibilidad para los insumos de clase 4

$$\sum_{j=1}^J (X4_{d,j}) (Y_j) \leq SX4_d, \text{ para todo } d \quad (67)$$

Ecuaciones de disponibilidad para los insumos de clase 5

$$\sum_{j=1}^J (X5_{e,j}) (Y_j) \leq SX5_e, \text{ para todo } e \quad (68)$$

Ecuaciones de disponibilidad para los insumos de clase 6

$$\sum_{j=1}^J (X6_{f,j}) (Y_j) \leq SX6_f, \text{ para todo } f \quad (69)$$

Ecuaciones de disponibilidad para los insumos de clase 7

$$\sum_{j=1}^J (X7_{g,j}) (Y_j) \leq SX7_g, \text{ para todo } g \quad (70)$$

Ecuaciones de disponibilidad para los insumos de clase 8

$$\sum_{j=1}^J (X8_{h,j}) (Y_j) \leq SX8_h, \text{ para todo } h \quad (71)$$

Ecuaciones de disponibilidad para los insumos de clase 9

$$\sum_{j=1}^J (X9_{i,j}) (Y_j) \leq SX9_i, \text{ para todo } i \quad (72)$$

Ecuaciones de disponibilidad para los insumos de clase 10

$$\sum_{j=1}^J (X10_{k,j}) (Y_j) \leq SX10_k, \text{ para todo } k \quad (73)$$

Comentarios informativos

1. Sobre la disponibilidad de los insumos;

Es erróneo aseverar que con lo que se cuenta diariamente de todas las clases de material representa la cantidad en *stock* de cada fábrica, ya que cada una de ellas cuenta con un aprovisionamiento continuo de insumos y materias primas, permitiéndole reponer los *stocks* de seguridad conforme a las normas determinadas para la fábrica. Para esto, las variables de inventarios toman en cuenta los ingresos proyectados en el tiempo de planificación y se considera que las materias primas estarán libres en el tiempo que se tenga que fabricar un determinado elemento a producir (lote o tanda) cuya composición requiera el consumo de un insumo específico.

2. Acerca del consumo de las disponibilidades y el valor a considerar en el modelamiento:

Las cantidades con que se cuenten como libres tienen que ser lo mayores posibles para que permita cumplir con objetivos de producción de la fábrica. Mejor dicho, las sumas de los pesos de los ingredientes libres por periodos tienen que ser, en el peor de los escenarios (y después

de usar el factor de rendimiento), igual a la suma de los pesos de los elementos a producir o tandas requeridas para el periodo de planificación. Es por esto, que debemos asegurar de colocar valores que nos dejen llegar al cumplimiento de los objetivos fijados de producción, no obstante, no dejen utilizar indiscriminadamente cualquier tipo de material.

3. Acerca de la variable de retorno de tiempo y el % de retorno:

En el modelamiento de Kim y Lewis (1987) se menciona la variable merma como la variable que indica el % de cada tonelada fundida que regresará a la licuefacción para ser consumida finalmente como material de carga. Pero a la vez, como se detalló en párrafos anteriores en el comentario tres de la de la definición de la función objetivo, el modelamiento no considerará el carácter recirculante de estos ingredientes.

De igual forma, la variable R que indica el periodo que debe transcurrir para que la chatarra proyectada como parte del proceso productivo pueda estar disponible como material de carga, resulta difícil de calcular por los motivos antes expuestos.

Restricciones de balance químico

Límites superiores

$$\begin{aligned} & \sum_{a=1}^A (X1_{a,j}) (RX1_a)(QX1_{a,p}) + \sum_{b=1}^B (X2_{b,j}) (RX2_b)(QX2_{b,p}) + \sum_{c=1}^C (X3_{c,j}) (RX2_c)(QX2_{c,p}) \\ & \sum_{d=1}^D (X4_{d,j}) (RX1_d)(QX1_{d,p}) + \sum_{e=1}^E (X5_{e,j}) (RX5_e)(QX6_{e,p}) + \sum_{f=1}^F (X6_{f,j}) (RX6_f)(QX6_{f,p}) \\ & \sum_{g=1}^G (X7_{g,j}) (RX7_g)(QX7_{g,p}) + \sum_{h=1}^H (X8_{h,j}) (RX8_h)(QX2_{h,p}) + \sum_{i=1}^I (X9_{i,j}) (RX9_i)(QX9_{i,p}) \\ & + \sum_{k=1}^K (X10_{k,j}) (RX10_k)(QX10_{k,p}) \leq (TS_{j,p})(M_j), \text{ para todo } j, p \end{aligned}$$

(74)

Comentarios informativos

1. Sobre el sub indicador *h*:

En los controles establecidos para verificar la calidad, se tiene dispositivos de control que se colocan en la parte interior de las mezclas en los hornos de licuefacción los cuales tienen el objetivo de establecer la composición porcentual de la mezcla resultante. De esta manera, en el área de metálicos al tiempo de establecer la mezcla de carga se identifican 4 elementos químicos residuales (P=4), cuya importancia impacta significativamente al momento de cuantificar la calidad de los distintos tipos de elementos a producir en la acería. De la misma manera, de acuerdo a lo manifestado por los responsables, en esta etapa del proceso solo se toma en cuenta la restricción del límite superior, ya que en un proceso posterior (en el horno cuchara) se realiza el afino de las composiciones al suministrar aditivos y ferroaleaciones. Estos componentes y el % dentro de cada insumo se aprecian en el Cuadro 29.

Cuadro 29 Cantidad porcentual de cada componente por ingrediente de carga

N°	Descripción	Elementos químicos			
		%Cr	%Ni	%Cu	%Sn
1	Trozos de metal de tarros de leche compactada	0.03	0.03	0.03	0.50
2	Trozos de metal de tarros de leche separado	0.03	0.03	0.03	0.50
3	Trozos de metal fragmentada nacional	0.06	0.06	0.10	0.08
4	Trozos de metal fragmentada importada	0.12	0.07	0.40	0.02
5	Trozos de metal heavy melting 1y2 (80/20)	0.30	0.08	0.30	0.10
8	Trozos de metal pesada > 1/4" (tipo "a") especial	0.10	0.10	0.20	0.05
7	Trozos de metal cortada	0.12	0.12	0.30	0.02
8	Trozos de metal viruta	0.10	0.10	0.30	0.05
9	Trozos de metal liviana	0.05	0.03	0.10	0.08
10	Trozos de metal de tarros de leche	0.03	0.03	0.03	0.50
11	Trozos de metal pesada	0.10	0.10	0.20	0.05
12	Trozos de metal preparada	0.10	0.10	0.20	0.05
13	Trozos de metal de embutición	0.02	0.02	0.02	0.00
14	Trozos de metal liviana compactada	0.02	0.02	0.02	0,00
15	Trozos de metal de recorte industrial	0.03	0.03	0.03	0.25
16	Recorte industrial compactado	0.03	0.03	0.03	0.25
17	Trozos de metal compactada tercera	0.02	0.02	0.02	0.00
18	Trozos de metal compactada embutición tipo "a"	0.02	0,02	0.02	0.00
19	Magnético de recuperación fragmentadora	0.10	0.10	0.30	0.05
20	Trozos de metal compactada paquete	0.02	0.02	0.02	0.00
21	Trozos de metal de tarros de leche separado	0.03	0.03	0.03	0.50
22	Trozos de metal maquila tubos	0.15	0.15	0.15	0.03
23	Magnético recuperado PPRF	0.10	0,10	0.30	0.05
24	Trozos de metal pesada importada	0.03	0.03	0.10	0.02
25	Trozos de metal paquete importado	0.04	0.01	0.00	0.01
26	Mezcla de hierro esponja de pellets	0.00	0.01	0.00	0.01
27	Mezcla de hierro esponja de pellets y mineral	0.00	0.01	0.00	0.01
28	Hierro esponja importado (D.R.I.)	0.00	0.01	0.00	0.01
29	Fierro metálico de escoria	0.15	0.15	0.50	0.06
30	Trozos de metal recuperación producción acería	0.15	0.15	0.65	0.06
31	Trozos de metal recuperación producción laminado	0.15	0.15	0.65	0.06
32	Trozos de metal de recuperación de planta	0.15	0.15	0.65	0.06

Fuente: Siderúrgica S.A

Restricciones de políticas de stocks

Política de *stocks* para los insumos de clase 1

$$LIX1 \leq \sum_{a=1}^A \sum_{j=1}^J (X1_{a,j})(Y_j) \leq LSX1 \quad (75)$$

Política de *stocks* para los insumos de clase 2

$$LIX2 \leq \sum_{b=1}^B \sum_{j=1}^J (X2_{b,j})(Y_j) \leq LSX2 \quad (76)$$

Política de *stocks* para los insumos de clase 3

$$LIX3 \leq \sum_{c=1}^C \sum_{j=1}^J (X3_{c,j})(Y_j) \leq LSX3 \quad (77)$$

Política de *stocks* para los insumos de clase 4

$$LIX4 \leq \sum_{d=1}^D \sum_{j=1}^J (X4_{d,j})(Y_j) \leq LSX4 \quad (78)$$

Política de *stocks* para los insumos de clase 5

$$LIX5 \leq \sum_{e=1}^E \sum_{j=1}^J (X5_{e,j})(Y_j) \leq LSX5 \quad (79)$$

Política de *stocks* para los insumos de clase 6

$$LIX6 \leq \sum_{f=1}^F \sum_{j=1}^J (X6_{f,j})(Y_j) \leq LSX6 \quad (80)$$

Política de *stocks* para los insumos de clase 7

$$LIX7 \leq \sum_{g=1}^G \sum_{j=1}^J (X7_{g,j})(Y_j) \leq LSX7 \quad (81)$$

Política de *stocks* para los insumos de clase 8

$$LIX8 \leq \sum_{h=1}^H \sum_{j=1}^J (X8_{h,j})(Y_j) \leq LSX8 \quad (82)$$

Política de *stocks* para los insumos de clase 9

$$LIX9 \leq \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J (X9_{i,j})(Y_j) \leq LSX9 \quad (83)$$

Política de *stocks* para los insumos de clase 10

$$LIX10 \leq \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J (X10_{k,j})(Y_j) \leq LSX10 \quad (84)$$

Comentarios informativos

1. Sobre las normas establecidas para los insumos:

En el modelamiento de Kim y Lewis (1987) no toma en cuenta esta idea. La cual establece el patrón de control de *stocks* definida por el área de Planeamiento y Operaciones de la Empresa Siderúrgica S.A, con el objetivo de llegar a niveles de *stocks* de ciertos grupos de insumos, en base a las normas de seguridad (para definir los niveles mayores a poder consumir) y en la disponibilidad de espacios de las zonas de depósito (para definir los niveles mínimos de uso). Estos valores son revisados en el momento que se ejecuta la tarea de programar las operaciones, con base a los niveles de inventario actuales en planta. Así, las variables LIX_n y LSX_n definen el mínimo y máximo consumo de forma respectiva para todos los grupos de ingredientes durante el horizonte de planificación.

Restricciones de calidades especiales

Consumo de restos de metal fragmentada importada

$$X_{21,j} = 0, \text{ para } j = 37,38,41,42,43,44,46 \text{ y } 47 \quad (85)$$

Consumo de restos de metal de embutición

$$X_{56,j} \geq 8, \text{ para } j = 37 \text{ y } 38 \quad (86)$$

Consumo de hierro esponja importado (D.R.I)

$$X_{81,j} \geq 30, \text{ para } j = 37 \text{ y } 38 \quad (87)$$

$$X_{81,j} \geq 15, \text{ para } j = 41,42,43,44,46 \text{ y } 47 \quad (88)$$

Comentarios informativos

1. Sobre las calidades especiales:

En el modelamiento de Kim y Lewis (1987) no considera esta idea. Las calidades especiales, como se mencionó anteriormente, son calidades de acero cuyas necesidades de composición química y especificaciones técnicas tienen exigencias que están por encima que los demás, adicional también reciben tratamientos especiales posterior a su fabricación en la acería. En el modelamiento establecido, se tienen ocho características especiales de un total de cincuenta y tres clases de acero, las cuales son asignadas a los códigos de producto 37, 38, 31,42, 43, 44, 46 y 47 del Cuadro 30.

2. Respecto la chatarra traída de mercados externos al nuestro, la chatarra de embutición y el hierro esponja importado (D.R.I):

Estos insumos se utilizan de manera especial en la fabricación de calidades especiales ya que tienen cualidades físicas que dejan tener un adecuado tratamiento posterior a la etapa de fabricación, favoreciendo la eficiencia de las coladas y de esa forma evitar la presencia de porosidades en las palanquillas.

Cuadro 30 Calidades de acero producidas en la Empresa Siderúrgica S.A.

Productos					
N°	Código de Producto	N°	Código de Producto	N°	Código de Producto
1	1535-1	19	A706-2RO	37	DIN9SMn28-1
2	1535-1 EXP	20	NBR748GCA5G-1	38	DIM9SMn28-2
3	1535-1L1	21	NBR7480CA50-2	39	1080-1
4	1535-1/2	22	NBR7480CA50-3	40	1080-VA
5	1535-2	27	NBR7480CA50-6	41	1G08A2
6	1535-2 EXP	24	A615G75Nb-V1	42	1008AA
7	1530V	25	A615G75V	43	1008C
8	1535-6	26	1020B	44	1008SXA
9	1525	27	1020B1	45	SAE1013
10	1525-1	28	1020B2	46	1008MQ
11	1535-1/2RO	29	1020B9	47	1008DQ
12	1535-2RO	30	1020P3-V1	48	1535-1B
13	1535-5/8RO	31	1020Nb-V2	49	1535-2B
14	1535-1/2ROEXP	32	1020Nb-V3	50	1020P3/1
15	1535-2ROEXP	33	1018-1	51	NBR7480CA50-2A
16	A615G40-1	34	1018-2	52	NBR7480CA50-2B
17	A706-1	35	1045-1	53	1065
18	A706-2	36	1045-2		

Fuente: Siderúrgica S.A.

Compilación del modelo matemático

Función objetivo

Minimizar

$$\begin{aligned}
 & \sum_{a=1}^A \sum_{j=1}^J (CX1_a)(X1_{a,j})(Y_j) + \sum_{b=1}^B \sum_{j=1}^J (CX2_b)(X2_{b,j})(Y_j) + \sum_{c=1}^C \sum_{j=1}^J (CX3_c)(X3_{c,j})(Y_j) \\
 & + \sum_{d=1}^D \sum_{j=1}^J (CX4_d)(X4_{d,j})(Y_j) + \sum_{e=1}^E \sum_{j=1}^J (CX5_e)(X5)(Y_j) + \sum_{f=1}^F \sum_{j=1}^J (CX6_f)(X6_{f,j})(Y_j) \\
 & + \sum_{g=1}^G \sum_{j=1}^J (CX7_g)(X7_{g,j})(Y_j) + \sum_{h=1}^H \sum_{j=1}^J (CX8_h)(X8_{h,j})(Y_j) + \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J (CX9_i)(X9_{i,j})(Y_j) \\
 & + \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J (CX10_k)(X10_{k,j})(Y_j)
 \end{aligned}$$

(89)

Restricciones de demanda y capacidad

Ecuaciones de tamaño de lote

$$\begin{aligned} & \sum_{a=1}^A (X1_{a,j}) (RX1_a) + \sum_{b=1}^B (X2_{b,j}) (RX2_b) + \sum_{c=1}^C (X3_{c,j}) (RX3_c) + \sum_{d=1}^D (X4_{d,j}) (RX4_d) \\ & + \sum_{e=1}^E (X5_{e,j}) (RX5_e) + \sum_{f=1}^F (X6_{f,j}) (RX6_f) + \sum_{g=1}^G (X7_{g,j}) (RX7_g) + \sum_{h=1}^H (X8_{h,j}) (RX8_h) \\ & + \sum_{i=1}^I (X9_{i,j}) (RX9_i) + \sum_{k=1}^K (X10_{k,j}) (RX10_k) = M_j, \text{ para todo } j \end{aligned} \quad (90)$$

Ecuaciones de capacidad del horno

$$\begin{aligned} & \sum_{a=1}^A (X1_{a,j}) (RX1_a) + \sum_{b=1}^B (X2_{b,j}) (RX2_b) + \sum_{c=1}^C (X3_{c,j}) (RX3_c) + \sum_{d=1}^D (X4_{d,j}) (RX4_d) \\ & + \sum_{e=1}^E (X5_{e,j}) (RX5_e) + \sum_{f=1}^F (X6_{f,j}) (RX6_f) + \sum_{g=1}^G (X7_{g,j}) (RX7_g) + \sum_{h=1}^H (X8_{h,j}) (RX8_h) \\ & + \sum_{i=1}^I (X9_{i,j}) (RX9_i) + \sum_{k=1}^K (X10_{k,j}) (RX10_k) \leq Z, \text{ para todo } j \end{aligned} \quad (91)$$

Restricciones de disponibilidad de insumos

Ecuaciones de disponibilidad para los insumos de clase 1

$$\sum_{j=1}^J (X1_{a,j}) (Y_j) \leq SX1_a, \text{ para todo } a \quad (92)$$

Ecuaciones de disponibilidad para los insumos de clase 2

$$\sum_{j=1}^J (X2_{b,j}) (Y_j) \leq SX2_b, \text{ para todo } b \quad (93)$$

Ecuaciones de disponibilidad para los insumos de clase 3

$$\sum_{j=1}^J (X3_{c,j}) (Y_j) \leq SX3_c, \text{ para todo } c \quad (94)$$

Ecuaciones de disponibilidad para los insumos de clase 4

$$\sum_{j=1}^J (X4_{d,j}) (Y_j) \leq SX4_d, \text{ para todo } d \quad (95)$$

Ecuaciones de disponibilidad para los insumos de clase 5

$$\sum_{j=1}^J (X5_{e,j}) (Y_j) \leq SX5_e, \text{ para todo } e \quad (96)$$

Ecuaciones de disponibilidad para los insumos de clase 6

$$\sum_{j=1}^J (X6_{f,j}) (Y_j) \leq SX6_f, \text{ para todo } f \quad (97)$$

Ecuaciones de disponibilidad para los insumos de clase 7

$$\sum_{j=1}^J (X7_{g,j}) (Y_j) \leq SX7_g, \text{ para todo } g \quad (98)$$

Ecuaciones de disponibilidad para los insumos de clase 8

$$\sum_{j=1}^J (X8_{h,j}) (Y_j) \leq SX8_h, \text{ para todo } h \quad (99)$$

Ecuaciones de disponibilidad para los insumos de clase 9

$$\sum_{j=1}^J (X9_{i,j}) (Y_j) \leq SX9_i, \text{ para todo } i \quad (100)$$

Ecuaciones de disponibilidad para los insumos de clase 10

$$\sum_{j=1}^J (X10_{k,j}) (Y_j) \leq SX10_k, \text{ para todo } k \quad (101)$$

Restricciones de Balance Químico

Límites superiores

$$\begin{aligned} & \sum_{a=1}^A (X1_{a,j}) (RX1_a) (QX1_{a,p}) + \sum_{b=1}^B (X2_{b,j}) (RX2_b) (QX2_{b,p}) + \sum_{c=1}^C (X3_{c,j}) (RX2_c) (QX2_{c,p}) \\ & \sum_{d=1}^D (X4_{d,j}) (RX1_d) (QX1_{d,p}) + \sum_{e=1}^E (X5_{e,j}) (RX5_e) (QX6_{e,p}) + \sum_{f=1}^F (X6_{f,j}) (RX6_f) (QX6_{f,p}) \\ & \sum_{g=1}^G (X7_{g,j}) (RX7_g) (QX7_{g,p}) + \sum_{h=1}^H (X8_{h,j}) (RX8_h) (QX2_{h,p}) + \sum_{i=1}^I (X9_{i,j}) (RX9_i) (QX9_{i,p}) \\ & + \sum_{k=1}^K (X10_{k,j}) (RX10_k) (QX10_{k,p}) \leq (TS_{j,p}) (M_j), \text{ para todo } j, p \end{aligned} \quad (102)$$

Restricciones de políticas de stocks

Política de stocks para los insumos de clase 1

$$LIX1 \leq \sum_{a=1}^A \sum_{j=1}^J (X1_{a,j}) (Y_j) \leq LSX1 \quad (103)$$

Política de stocks para los insumos de clase 2

$$LIX2 \leq \sum_{b=1}^B \sum_{j=1}^J (X2_{b,j}) (Y_j) \leq LSX2 \quad (104)$$

Política de *stocks* para los insumos de clase 3

$$LIX3 \leq \sum_{c=1}^C \sum_{j=1}^J (X3_{c,j})(Y_j) \leq LSX3 \quad (105)$$

Política de *stocks* para los insumos de clase 4

$$LIX4 \leq \sum_{d=1}^D \sum_{j=1}^J (X4_{d,j})(Y_j) \leq LSX4 \quad (106)$$

Política de *stocks* para los insumos de clase 5

$$LIX5 \leq \sum_{e=1}^E \sum_{j=1}^J (X5_{e,j})(Y_j) \leq LSX5 \quad (107)$$

Política de *stocks* para los insumos de clase 6

$$LIX6 \leq \sum_{f=1}^F \sum_{j=1}^J (X6_{f,j})(Y_j) \leq LSX6 \quad (108)$$

Política de *stocks* para los insumos de clase 7

$$LIX7 \leq \sum_{g=1}^G \sum_{j=1}^J (X7_{g,j})(Y_j) \leq LSX7 \quad (109)$$

Política de *stocks* para los insumos de clase 8

$$LIX8 \leq \sum_{h=1}^H \sum_{j=1}^J (X8_{h,j})(Y_j) \leq LSX8 \quad (110)$$

Política de *stocks* para los insumos de clase 9

$$LIX9 \leq \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J (X9_{i,j})(Y_j) \leq LSX9 \quad (111)$$

Política de *stocks* para los insumos de clase 10

$$LIX10 \leq \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J (X10_{k,j})(Y_j) \leq LSX10 \quad (112)$$

Restricciones de calidades especiales

Consumo de restos de metal fragmentada importada

$$X2_{1,j} = 0, \text{ para } j = 37,38;41,42,43,44,46 \text{ y } 47 \quad (113)$$

Consumo de restos de metal de embutición

$$X5_{6,j} \geq 8, \text{ para } j = 37 \text{ y } 38 \quad (114)$$

Consumo de hierro esponja importado (D.R.I)

$$X_{81,j} \geq 30, \text{ para } j = 37 \text{ y } 38 \quad (115)$$

$$X_{81,j} \geq 1.5, \text{ para } j = 41,42,43,44,46 \text{ y } 47 \quad (116)$$

El modelamiento de programación lineal establecido se generó utilizando el lenguaje de modelamiento del *software* LINGO 11.0 y a la vez usando una interfaz en MS Excel, esto último con el objetivo de enseñar los resultados obtenidos a los trabajadores de la planta, los cuales no comprenden a detalle la ejecución de un modelo de programación lineal. De acuerdo a lo indicado trabajaremos la idea de “caja negra”, donde los responsables de cargar los datos de la mezcla de carga no conocen el detalle que es lo que internamente se ejecuta en el modelo, pero si tienen conocimiento de los valores que deben suministrar en la hoja de MS Excel y analizar los valores obtenidos, para lo cual estos valores son desplegados en una interfaz más conocida y amigable.

1.2.3 Conclusiones del Modelo

De acuerdo al autor Roca (2019) del caso práctico número dos. El programa de producción propuesto se acomoda a los requerimientos de la Empresa y los valores obtenidos se aproximan mejor al objetivo planteado. También se tiene:

- El modelamiento establecido es de naturaleza estática, por otro lado, la realidad de la Fábrica es dinámica. El plan de carga propuesto por el modelamiento se considera como una referencia hacia la cual dirigir los objetivos de la programación y consumo real de la Fábrica, sin embargo no debe restringirla a cumplir exactamente lo indicado por el modelo, ya que se tienen escenarios que pueden escapar del alcance del modelo.
- El modelamiento establecido nos lleva a obtener el menor gasto de materiales para la mezcla de carga conformado por varias tandas de producción de diferentes elementos a producir (calidades) en un periodo de tiempo establecido.

No obstante, que el caso práctico número dos es de tipo problema de mezcla, para la elaboración del modelo a desarrollar, consideraremos en forma similar restricciones de capacidades y políticas de inventarios, así como, restricciones de disponibilidad de ingredientes principales y composición de formulación. (para el modelo: leche).

1.3 Caso práctico empresa industria nativa S.A.C.

El caso práctico 3 se titula “empresa de obtención y procesamiento de la goma de taya de industria nativa SAC.” es un trabajo de suficiencia profesional para optar al Título de Licenciado en Administración, autores: JULCA LAFORA, Georgina Milagros, MALCA QUISPE, Ana Karina y SARAVIA CANDIOTTI, Jannis Mercedes del año 2016. A continuación, se hará una breve descripción de este caso.

1.3.1 Introducción

En el caso práctico número tres se describe la formulación del modelo de la programación de la goma de TAYA en polvo. El modelo, se buscará establecer las variables y restricciones requeridas para lograr ejecutar la programación lineal entera y obtener mejores resultados sobre la producción.

1.3.2 Formulación del modelo.

Par obtener el modelo de programación Lineal Entera se utilizarán los valores de los registros de planta de la Empresa, registros que son parte del historial manejado por la Planta.

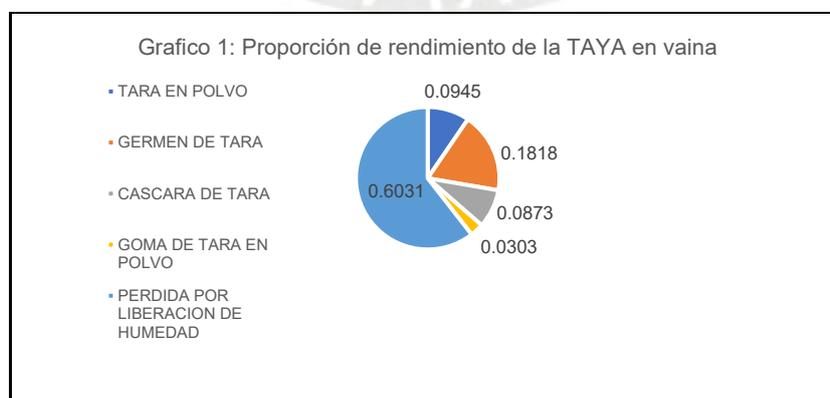
Se tiene que por 33,000.00 kg. de tara o taya en cáscara se obtiene como rendimiento las cantidades detalladas de elementos a producir en la tabla 1, teniendo en consideración que se tiene una merma de 1,000 kg. como consecuencia del pase de la planta por el horno, que produce una liberación de la humedad:

Cuadro 31 Rendimiento de taya en cáscara

	TAYA EN POLVO	GERMEN DE TAYA	CÁSCARA DE PEPA	GOMA DE TAYA EN POLVO
KILOS DE PRODUCTO PROCESADO FINAL	20 000	3 120	6 000	2 880

Fuente: La Empresa

En el Gráfico número 1 se detalla la distribución de la taya en cáscara:



Fuente: La Empresa

En el Cuadro 32 se tiene los *stocks* actuales de los distintos derivados del producto en las bodegas de la Empresa, estos *stocks* deben ser considerados, ya que cada derivado va siendo procesado en cada línea y sale un elemento a producir final y genera de nuevo un derivado y así sucesivamente, no necesariamente se requiere que la ecuación sea considerada como una serie de pasos continuos de producción que inician en una etapa inicial, por lo contrario, se debe considerar como procesos que se dan paralelamente.

Cuadro 32 Cantidades en almacén

PRODUCTO	KILOS
PEPA	50000
MIX DE CASCARA Y GOMA	180000
SPLIT DE GOMA	100000

Fuente: La Empresa

En el Cuadro 33 se muestra la capacidad que tiene cada línea de producción, en kilos por hora, kilos por un turno de trabajo de 8 horas y un mes de trabajo⁴:

Cuadro 33 Producción por cada línea de producción

	Elemento a producir	Kg./hora	Kg./turno	Kg./periodo (mes)
TRILLADORA	TAYA EN POLVO*	400	3200	83200
	SEMILLA ENTERA	243	1944	50544
TOSTADORA Y MOLINO	CASCAR Y SPLIT	1460	11680	303680
	GERMEN DE TAYA*	540	4320	112320
SELECCIONADORA AUTOMATICA	CASCARA DE PEPA	1000	8000	208000
	SPLIT DE GOMA DE TAYA	500	4000	104000
MOLINO DE ACERO	GOMA DE TAYA EN POLVO	500	4000	104000

Fuente: La Empresa

A la vez, en el Cuadro 33 se detalla los elementos producidos detallados con un asterisco a su lado derecho, son productos finales para venta, aquellos que no tienen son derivados.

⁴ Tomando en cuenta que el mes tiene 30 fechas, de los cuales 26 fechas son laborables de 8 horas (lunes-sábados) y 4 fechas no laborables (domingos).

En el Cuadro 34 se tiene un detalle de las cantidades mayores a fabricar, por la restricción que existe en la capacidad de la primera línea de producción

Cuadro 34 Cantidades mayores a producir

PRODUCTO	KILOS/MES
TAYA EN POLVO	83200
GERMEN DE TAYA	13141.44
CASCARA DE PEPA	25272

Fuente: La Empresa

Desarrollo programación lineal

Con el objetivo de tener mejores resultados en la Empresa Industria Nativa S.A.C., evaluaremos la posibilidad de la adquisición de nuevos equipos, con los cuales podremos optimizar la capacidad de producción de la planta.

A la vez realizaremos la evaluación para utilizar turnos dobles, de tal manera que podamos utilizar la capacidad ociosa de la planta, lo cual generará un crecimiento en la Empresa y se tenga mejores ingresos.

Identificación de las variables

Se define la variable X_i que establece la cuantificación de los kg. a fabricar para poder obtener la mayor la utilidad bruta mensual.

X_i = Numero de kg. a fabricar del elemento a producir "i", $i = 1, 2, 3, 4$

1: Taya en Polvo

2: Germen de taya

3: Cascara de pepa

4: Goma de Taya en polvo

Considerando el estado actual de la Empresa se generan unos gastos fijos por periodo (mes).

CF = Gastos de salida de producto fijos por periodo.

Comprobaremos si se requiere considerar turnos dobles, ya que en el escenario actual la Fabrica tiene la capacidad de formar turnos dobles.

$$Y_i = \begin{pmatrix} 0, \text{no se utiliza turnos dobles} \\ 1, \text{no se utiliza turnos dobles} \end{pmatrix} \quad (117)$$

Por esta razón, consideraremos un adicional para los gastos fijos que se tenían por periodo (mes).

I = Valor de los gastos fijos de salida de productos por periodo adicionales, si se utiliza turnos dobles.

Otra variable a definir, es la necesidad que se tiene para la adquisición de un equipo neumático.

$$B_i = \begin{pmatrix} 0, \text{si no se adquiere el compresor de aire} \\ 1, \text{lo contrario} \end{pmatrix} \quad (118)$$

A la vez para saber la necesidad de la cantidad de insumos o materia prima que se requiere para las producciones a programar, se necesita conocer la cantidad de kilogramos de taya en cáscara que se comprará.

T = kilogramos a comprar de taya en cáscara

De igual manera, definiremos una variable de soporte que requeriremos que es una variable auxiliar, la cual será un monto mayor a todos los montos que se tienen en producción.

$$M = 5000 \quad (119)$$

Objetivo

La función objetivo busca llegar a cuantificar el óptimo de la producción de la Empresa Industria Nativa S.A.C., considerando los valores de capacidad de producción que se tiene en cada línea de producción y también considerar los gastos que se hacen efectivos si hay modificaciones.

Consideramos también en la ecuación los valores relacionados son los precios de salida de producto, que normalmente no presentan fluctuaciones significativas a través de todos los periodos del año, por lo cual tomaremos como referencia los precios de tallados en el Cuadro 35 en estación normal de salida de productos que la Empresa Industria Nativa S.A.C. toma como referencia en su mayoría de proyecciones:

Cuadro 35 Precios de venta o salida de producto.

ELEMENTO A PRODUCIR	IMPORTE DE SALIDA POR KILO EN DOLARES	IMPORTE DE SALIDA POR KILO EN SOLES
TAYA EN POLVO	\$ 1.600	S/. 5.280
GERMEN DE TAYA	\$ 0.197	S/. 0.650
CASCARA DE PEPA	\$ 0.091	S/. 0.300
GOMA DE TAYA EN POLVO	\$ 6.500	S/. 21.45

Fuente: La Empresa

Otro factor a considerar es el gasto de la materia prima o insumos, el cual permanece estable sin fluctuaciones considerables, debido a contratos previos con sus proveedores, por lo cual, se mantiene un precio estable y se hace una planificación de adquisición antes de la llegada de las estaciones de lluvia⁵ para posteriormente ser se estoqueada para futuras producciones.

GASTO DE MATERIA PRIMA = \$ 0.82 / S/. 2.70

También debemos considerar los gastos fijos de salida de producto que se tiene actualmente en la Empresa. El Cuadro 36 representa la valuación que la Empresa considera en sus últimos periodos mensuales, en horario de oficina de 8-5pm.

Cuadro 36 Gastos fijos de Venta o salida de producto

DESCRIPCION	GASTO FIJO EN SOLES
LUZ INDUSTRIAL DE ALTA TENSIÓN CARGO FIJO MIN	S/. 15000.00
GAS	S/. 500.00
OPERARIOS	S/. 3300.00
JEFE DE PLANTA	S/. 2500.00
AGUA	S/. 180.00
TOTAL	S/. 21,480.00

Fuente: La Empresa

Del mismo modo, los gastos fijos de venta adicionales que se incurrirían si se realizan dos turnos en la Empresa. El Cuadro 37 representa la valuación adicional que la Empresa considera que se incurriría si se realiza un horario nocturno de 10 – 6 am.

⁵ En la temporada de lluvias es de enero a marzo, en ese periodo de tiempo no se cosecha la TAYA en cáscara.

Cuadro 37 Gastos fijos de Venta

DESCRIPCIÓN	GASTO FIJO EN SOLES
LUZ INDUSTRIAL DE ALTA TENSIÓN CARGO FIJO	S/. 5000.00
GAS	S/. 500.00
OPERARIOS	S/. 3300.00
JEFE DE PLANTA	S/. 2500.00
AGUA.	S/. 60.00
TOTAL	S/. 11,360.00

Fuente: La Empresa

De acuerdo a todos los gastos que se tienen al realizar la fabricación, se establece la formulación con la función objetivo: la cual es Lograr la mayor la utilidad bruta por periodo (mes), considerando la siguiente ecuación:

MAX Z(X) = Σ (PRECIO X PRODUCTO) - GASTOS DE VENTA FIJOS - GASTO DE MATERIA PRIMA - GASTOS DE VENTA ADICIONALES

SIMBOLIZANDO:

$$MAX Z X = 5.28 X1 + 0.65X2 + 0.30x3 + 21.45 x4 - CF - 2.7 x T - 1 x (1 Yi) \quad (120)$$

Restricciones:

Considerando todo lo detallado anteriormente, se requiere generar todas las restricciones para lograr la resolución adecuada de la ecuación planteada, las cuales se detallan a continuación.

1. La Producción debe ser un número entero, ya que los pedidos manejados cantidades exactas sin fracciones. Esta restricción se establece como:

$$Xi = entero \quad (121)$$

2. A la vez en el modelamiento se debe considerar la restricción de no negatividad:

$$Xi \geq 0 \quad (122)$$

3. La siguiente restricción define que las variables de adquisición o no del equipo y usar o no turnos dobles, son binarias, es decir:

$$Bi = binaria \quad (123)$$

$$Yi = binaria \quad (124)$$

⁶Tomando en cuenta que el mes tiene 30 fechas, de los cuales 26 fechas son laborables de 8 horas (lunes - sábados) y 4 fechas no laborables (domingos).

4. A la vez, se debe considerar el rendimiento que tiene la taya en cáscara en relación a sus derivados terminados, esta restricción se define como:

$$X1 \leq 0.606060 \times T \quad (125)$$

$$X2 \leq 0.094545 \times T \quad (126)$$

$$X3 \leq 0.181818 \times T \quad (127)$$

$$X4 \leq 0.087272 \times T \quad (128)$$

5. Se requiere confirmar si es mejor para la Empresa que se adicione un turno de noche (Y_i), por lo cual consideraremos la capacidad de producción que tiene cada línea de fabricación en un periodo. A la vez, en estas ecuaciones tomaremos la variable de adquirir o no el equipo, que influirá directamente en la capacidad de la maquina seleccionadora⁷. Formulando así las siguientes ecuaciones:

$$X1 \leq 83,200.00 + M \times (1 - Y_i) \quad (129)$$

$$X2 \leq 112,320.00 + M \times (1 - Y_i) \quad (130)$$

$$X3 \leq 208,000.00 + M \times 1 - Y_i + B_i \times 208,000.00 \quad (131)$$

$$X4 \leq 104,000.00 + M \times (1 - Y_i) \quad (132)$$

$$X1 \leq 166,400.00 + Y_i \times M \quad (133)$$

$$X2 \leq 224,640.00 + Y_i \times M \quad (134)$$

$$X3 \leq 416,000.00 + Y_i \times M + B_i \times 416,000.00 \quad (135)$$

$$X4 \leq 208,000.00 + Y_i \times M \quad (136)$$

6. Para terminar, consideraremos que todo elemento a producir alimenta a la siguiente línea de fabricación, por esto consideraremos cual es la mayor cantidad de derivado que la anterior línea puede producir.

Considerando los inventarios existentes en *stock* de cada derivado. Estas ecuaciones se definirían de la siguiente manera:

$$X1 \leq 83,200.00 + M \times (1 - Y_i) \quad (137)$$

$$X2 \leq 4,791.00 + M \times (1 - Y_i) \quad (138)$$

$$X3 \leq 9,336.00 + M \times 1 - Y_i + B_i \times 9,336.00 \quad (139)$$

$$X4 \leq 4,581.00 + M \times (1 - Y_i) \quad (140)$$

$$X1 \leq 166,400.00 + Y_i \times M \quad (141)$$

$$X2 \leq 9,570.00 + Y_i \times M \quad (142)$$

$$X3 \leq 18,404.00 + Y_i \times M + B_i \times 18,404.00 \quad (143)$$

$$X4 \leq 8,834.00 + Y_i \times M \quad (144)$$

⁷La máquina seleccionadora influye en la capacidad de producción de X3

Al reunir todo lo planteado anteriormente para la formulación del modelo se obtiene la programación lineal detallado:

$$MAX Z X = 5.28 X1 + 0.65X2 + 0.30x3 + 21.45 x4 - CF - 2.7 x T - 1 x (1 Yi) \quad (145)$$

Sujeto a:

$$Xi = \text{entero} \quad (146)$$

$$Xi \geq 0 \quad (147)$$

$$Bi = \text{binaria} \quad (148)$$

$$Yi = \text{binaria} \quad (149)$$

$$X1 \leq 0.606060 x T \quad (160)$$

$$X2 \leq 0.094545 x T \quad (161)$$

$$X3 \leq 0.181818 x T \quad (162)$$

$$XA \leq 0.087272 x T \quad (163)$$

$$X1 \leq 83,200.00 + M x (1 - Yi) \quad (164)$$

$$X2 \leq 112,320.00 + M x (1 - Yi) \quad (165)$$

$$X3 \leq 208,000.00 + M x 1 - Yi + Bi x 208,000.00 \quad (166)$$

$$X4 \leq 104,000.00 + M x (1 - Yi) \quad (167)$$

$$X1 \leq 166,400.00 + Yi x M \quad (168)$$

$$X2 \leq 224,640.00 + Yi x M \quad (169)$$

$$X3 \leq 416,000.00 + Yi x M + Bi x 416,000.00 \quad (170)$$

$$X4 \leq 208,000.00 + Yi x M \quad (171)$$

$$X1 \leq 83,200.00 + M x (1 - Yi) \quad (172)$$

$$X2 \leq 4,791.00 + M x (1 - Yi) \quad (173)$$

$$X3 \leq 9,336.00 + M x 1 - Yi x 9,336.00 \quad (174)$$

$$X4 \leq 4,581.00 + M x (1 - Yi) \quad (175)$$

$$X1 \leq 166,400.00 + Yi x M \quad (176)$$

$$X2 \leq 9,570.00 + Yi x M \quad (177)$$

$$X3 \leq 18,404.00 + Yi x M + Bi x 18,404.00 \quad (178)$$

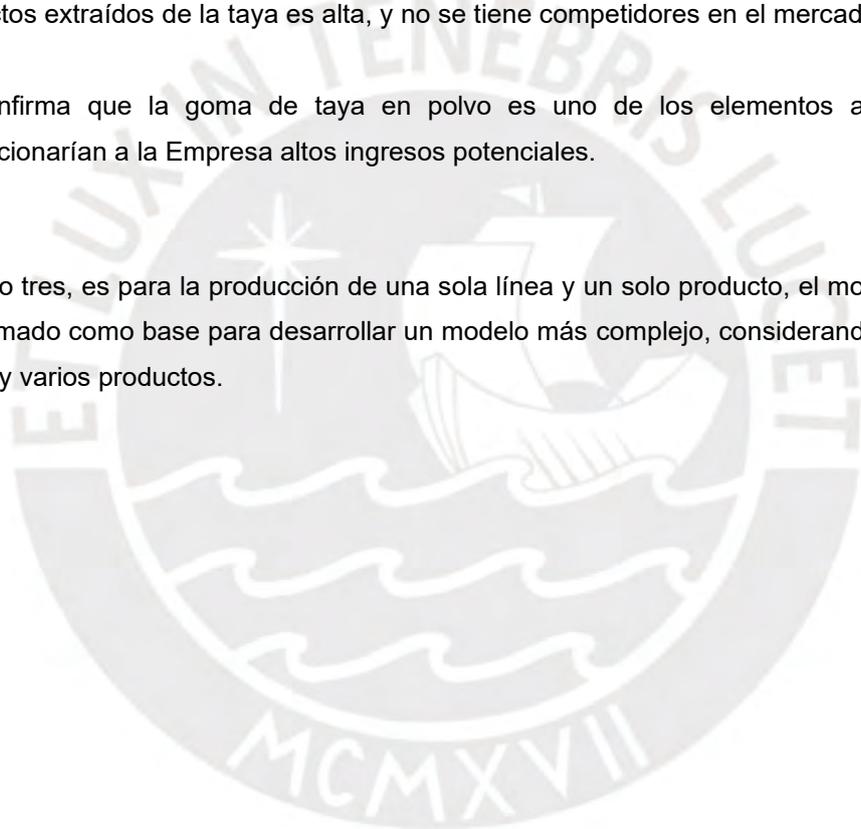
$$X4 \leq 8,834.00 + Yi x M \quad (179)$$

1.3.3 Conclusiones del modelo.

De acuerdo a los autores Julca-Malca-Saravia (2016) del caso práctico número tres, el modelo confirma:

1. No se adquirirá un nuevo equipo, ya que como resultado de la la evaluación realizada a lo largo del trabajo se concluye que utilizando turnos dobles logramos el meta objetivo de aumentar la producción sin estar por encima del máximo por línea.
2. La actual capacidad con que cuenta la Empresa nos deja producir las unidades requeridas con la resolución del modelo matemático establecido.
3. Los gastos de turnos dobles son cubiertos por la producción, ya que la necesidad de los productos extraídos de la taya es alta, y no se tiene competidores en el mercado.
4. Se confirma que la goma de taya en polvo es uno de los elementos a producir que proporcionarían a la Empresa altos ingresos potenciales.

El caso práctico tres, es para la producción de una sola línea y un solo producto, el modelo es simple y puede ser tomado como base para desarrollar un modelo más complejo, considerando varias líneas de producción y varios productos.



2 CAPITULO 2 ESTUDIO DEL CASO

2.1 Análisis de la industria

Según información del MIDAGRI (2021), detallada en el Cuadro 38, en el 2020 el consumo per cápita de leche en el Perú fue de 81 kilogramos, nivel que coloca al Perú como un país de consumo medio de leche.

Cuadro 38 Consumo de leche por persona

CONSUMO PER CAPITA LECHE		
Elevado	mayor a 150	América del Norte, Argentina; Costa Rica
Medio	30 -150	América latina, Japón, México
Bajo	menor a 30	África Central, Asia Oriental

Fuente FAO

La industria láctea conformada principalmente por tres grandes Empresas a las que denominaremos Industria1, Industria2 e Industria3. Estas Empresas producen leche industrial (leche evaporada y pasteurizada) y productos derivados tales como yogurt, mantequilla y queso.

El Cuadro 39 se muestra la producción de leches industriales y derivados lácteos de la Agroindustria del año 2015 al 2020.

Cuadro 39 Producción de leches.

PRODUCCIÓN DE LECHE INDUSTRIALES Y DERIVADOS LACTEOS DE LA AGROINDUSTRIA LÁCTEA, TONELADAS 2015 -2020				
Categorías	2015	2017	2019	2020
A. Leches Industriales	649959	629274	637818	633072
Evaporada	499856	459133	455242	472959
Pasteurizada	143437	163788	174523	154287
Leche Condensada	6666	6353	8053	5826
B. Derivados Lácteos	245235	198080	211453	217147
Yogurts	207204	160224	168054	173954
Queso Maduro	14229	12844	15710	15629
Manjar Blanco	6247	6565	6960	7201
Mantequilla	4526	4942	5616	7079
Queso fresco	6491	6254	6623	6720
Cremas	5866	6710	7945	6017
Queso Mantecoso	672	541	545	547
Total (A+B)	895194	827354	849271	850219
Fuente: Midagri 2021				
Elaboración: Indecopi Octubre 2021				

Según información de Class & Asociados (2021) y USDA (2020) a nivel de leches industriales Industria1 se erige como la Empresa líder dentro de la categoría, con una participación de mercado de 76.7% y que a nivel de leche evaporada cuenta con una participación de 79.8% y de 68.8% a nivel de leches pasteurizadas. En tanto Industria2 y Industria3 de forma conjunta sostendrían una participación de mercado de 15% de producción de leche industrializada y el porcentaje restante sería explicado por la producción de 160 pequeños procesadores.

A nivel derivados lácteos, se destacan dos productos: yogurts que explican el 80.11 % de la producción de la categoría y los quesos representando el 10.54% de la producción de derivados lácteos. En esta categoría, Industria1 es la Empresa líder en la producción de yogurts con un 77.5% de participación de mercado a diciembre 2020 y un 27 % a nivel de quesos. Seguido por Industria2 y Industria4 (MIDAGRI 2017). Fuente: Indecopi

La leche más consumida en el mercado peruano es la leche fresca que es alrededor del 80%, la leche fresca UHT es 19% leche en polvo 1% siendo que en el mercado de consumo: la leche pasteurizada crece más del doble que el de las leches evaporadas. Fuente: Agraria.pe

2.2 Descripción de la Empresa

La Empresa Indulactea, nombre con el que se denominará a la Empresa en estudio, se dedica a la industria de elaborar, procesar y envasar productos lácteos en general. Indulactea Inicio sus procesos en los años 40 con una pequeña planta en el interior del país, una producción de 2000 kg por día y 65 personas. En la actualidad cuenta con varias plantas industriales en toda la Región, y aproximadamente 1800 colaboradores.

Indulactea amplia constantemente su cartera de productos, para cumplir con la satisfacción de sus clientes y a la vez contribuye positivamente a la alimentación de la población nacional.

El éxito alcanzado por Indulactea se debe a la diligencia y audacia para identificar oportunidades de crecimiento, así como la calidad del producto ofrecido, sinónimo de la confianza en la marca de los consumidores.

Para lograr la mayor calidad en sus productos y ampliar la capacidad instalada de sus plantas Indulactea realiza importantes adquisiciones en activos fijos. Aplicando nuevas tecnologías y modernizando sus plantas.

2.2.1 Visión, Misión y Valores

Misión: Mantener el liderazgo en cada uno de los mercados en que participa a través de la producción y comercialización de productos con marcas que garanticen un valor agregado para sus clientes.

Visión: Ser un Grupo Empresarial de clase mundial, con colaboradores apasionados con su trabajo, que crecen personal y profesionalmente todos los días, priorizando la innovación y la eficiencia para el crecimiento sostenido.

Valores:

1. Conducta honesta, transparente, ética y fiel cumplimiento de obligaciones
2. Trabajo en equipo.
3. Profesionalismo, iniciativa y creatividad.
4. Compromiso ambiental y social.

2.2.2 Estructura Organizacional

La Empresa Indulctea presenta una estructura organizacional tipo funcional. En el Gráfico 1 se muestra el organigrama. Como se aprecia, la Intendencia de Derivados, depende de la Gerencia de Operaciones. La investigación se desarrollará en esta Intendencia.

Según se muestra en el organigrama, las áreas funcionales son:

Cadena de suministros. Se encarga del proceso que comienza con la obtención de materiales e insumos para la producción (aprovisionamiento) , hasta la entrega del producto final a nuestros clientes (distribución). La intendencia de planificación es la encargada de la elaboración de los programas de producción, reporta a la Gerencia de cadena de suministros.

Finanzas: Se encarga del proceso de la administración del recurso financiero.

RRHH. Se encarga del proceso de la administración del recurso humano.

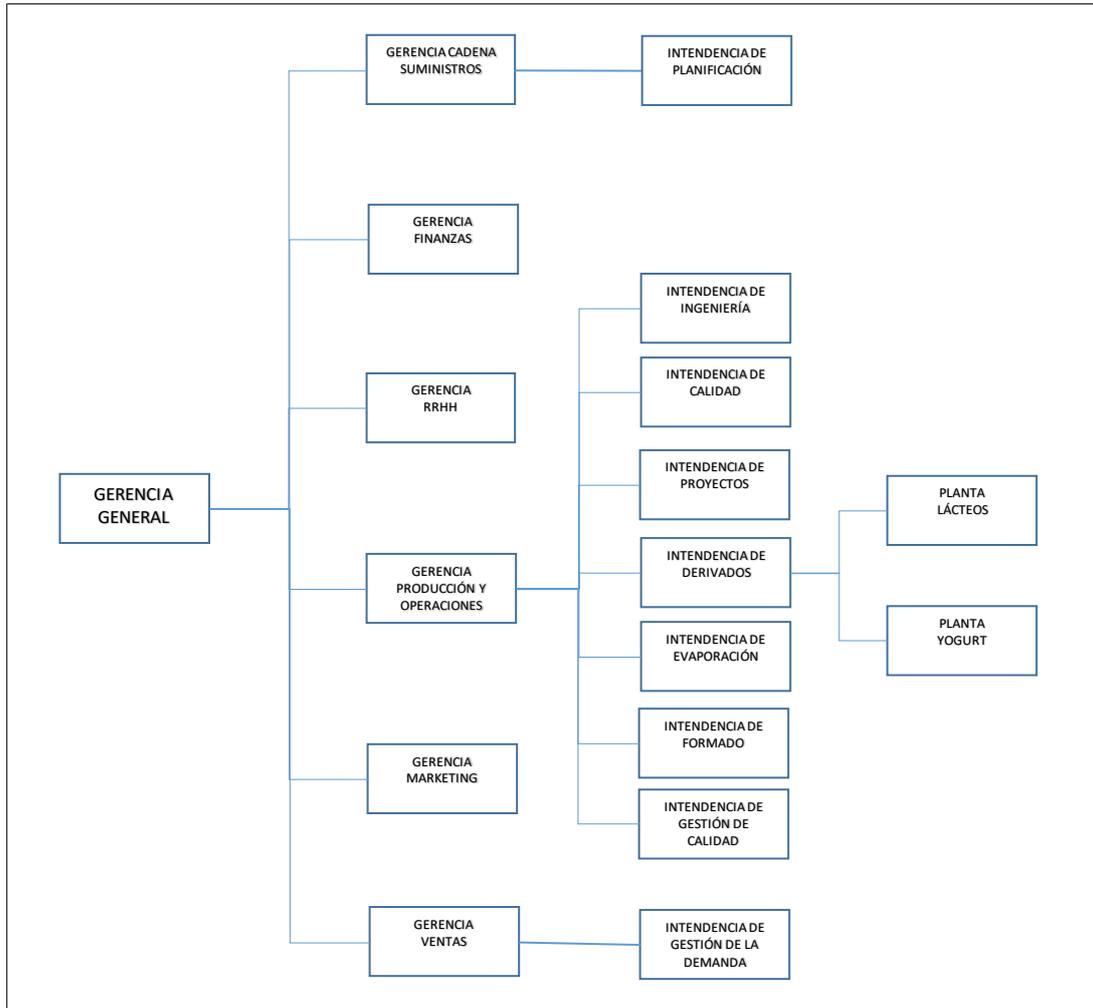
Producción y operaciones. Se encarga del proceso de la conversión de los insumos y materiales, hasta convertirlos en el producto final. Se encuentra conformada por las intendencias de: Ingeniería, Calidad, Proyectos, Derivados, Evaporación, Formado y Gestión de la Calidad. A su vez, Derivados se encuentra formado por las plantas de lácteos y yogurt donde se realiza el presente estudio.

Marketing. Se encarga del proceso de generar estrategias de posicionamiento de mercado.

Ventas. Se encarga del proceso de generar estrategias comerciales.

En el Gráfico 2 se muestra el detalle del organigrama de la empresa.

Gráfico 2 Organigrama de la empresa Indulactea



Fuente: Indulactea 2023, Elaboración Propia

2.2.3 Clientes

La Empresa Indulactea tiene ventas nacionales y de exportación. En el ámbito nacional atiende usando los siguientes canales de venta:

- Mayoristas.
- Autoservicio.
- Entidades privadas y públicas.
- Programas Sociales.
- Hoteles y Restaurantes.

Indulactea también contrata Empresas distribuidoras que llegan a los minoristas de mercados y bodegas tanto en Lima como en provincia.

2.3 Análisis del sistema productivo

2.3.1 Productos

Dentro de los productos que se elaboran en Indulactea tenemos:

Leches Procesadas.

1. Leches Blancas Enteras UHT 1L
2. Leches Blancas Enteras UHT 1.5 L
3. Leches Blancas Descremadas UHT 1L
4. Leches Blancas Descremadas UHT 1.5 L
5. Leches Blancas Semidescremadas UHT 1L
6. Leches Blancas Semidescremadas UHT 1.5 L
7. Leches Saborizadas UHT 1LT
8. Leches Saborizadas UHT 1.5 L
9. Leches Saborizadas UHT 200ml
10. Leches Saborizadas UHT 500 ml

Yogures

1. Bebibles Enteros 1000 gr
2. Bebibles Enteros 500 gr
3. Bebibles Enteros 200 gr
4. Batidos enteros vasos 100 gr
5. Vasos termo formados 100 gr
6. Vasos 125 gr
7. Vasos con sobrecopas 125 gr

Yogures Pasteurizados

1. Yogures Pasteurizados 1000 gr
2. Yogures Pasteurizados 500 gr
3. Yogures pasteurizados 200 gr

2.3.2 Descripción del Sistema Productivo

El proceso principal de la planta es la manufactura de productos lácteos, el proceso inicia con la recepción de los insumos en la zona de elaboración donde serán incorporados de acuerdo a la formulación de cada producto, una vez terminada la etapa de elaboración los productos serán enviados a sus respectivas zonas de envasado, según sea para productos UHT (leches), yogures y yogures pasteurizados.

La planta trabaja en tres turnos rotativos de 8 horas cada uno, seis días de la semana (dependiendo de las necesidades de producción se realizan labores de sobretiempos trabajando los domingos en los tres turnos), durante todo el año. Una vez al mes se realiza una parada general de planta para el

mantenimiento preventivo de los equipos críticos. La duración de la parada depende de las necesidades del equipo, oscilando entre ocho y dieciséis horas, pudiendo ser realizada en días domingo.

A la vez se cuenta con programación de mantenimiento programado de equipos según recomendaciones del fabricante.

Se cuenta con personal calificado tanto para las labores de operación (requisito para operadores: técnicos egresados de institutos de educación superior), como para las labores de supervisión de planta (supervisores de producción: educación superior universitaria)

2.3.3 Principales procesos.

El proceso productivo cuenta con las siguientes etapas: recepción y descarga de leche, pasteurización y clarificación de la leche, enfriamiento de la leche, almacenamiento de la leche, estandarización de la leche, mezclado y estandarización del producto, homogenización, pasteurización y enfriamiento del producto y finalmente envasado de acuerdo a la presentación requerida. Se debe tener especial atención en las etapas de pasteurización, las cuales determinan el aspecto de inocuidad del producto final. Así mismo, las etapas de enfriamiento de producto las cuales determinan el aspecto de calidad (buena consistencia).

A continuación de acuerdo al Gráfico 3 Diagrama de operaciones del proceso, se desarrolla cada una de las etapas.

Recepción y descarga de leche cruda.

La leche cruda provenientes de los puntos de acopios es recepcionada en planta, previo lavado de los camiones cisterna isotérmicos y muestreo de calidad de la leche. Por medio de bombas la leche es descargada de las cisternas hacia tanque de almacenamiento en la planta.

Pasteurización y Clarificación de la leche cruda.

Mediante la fuerza centrífuga de una clarificadora se separan las impurezas macroscópicas de la leche y mediante la pasteurización se eliminan los microorganismos patógenos.

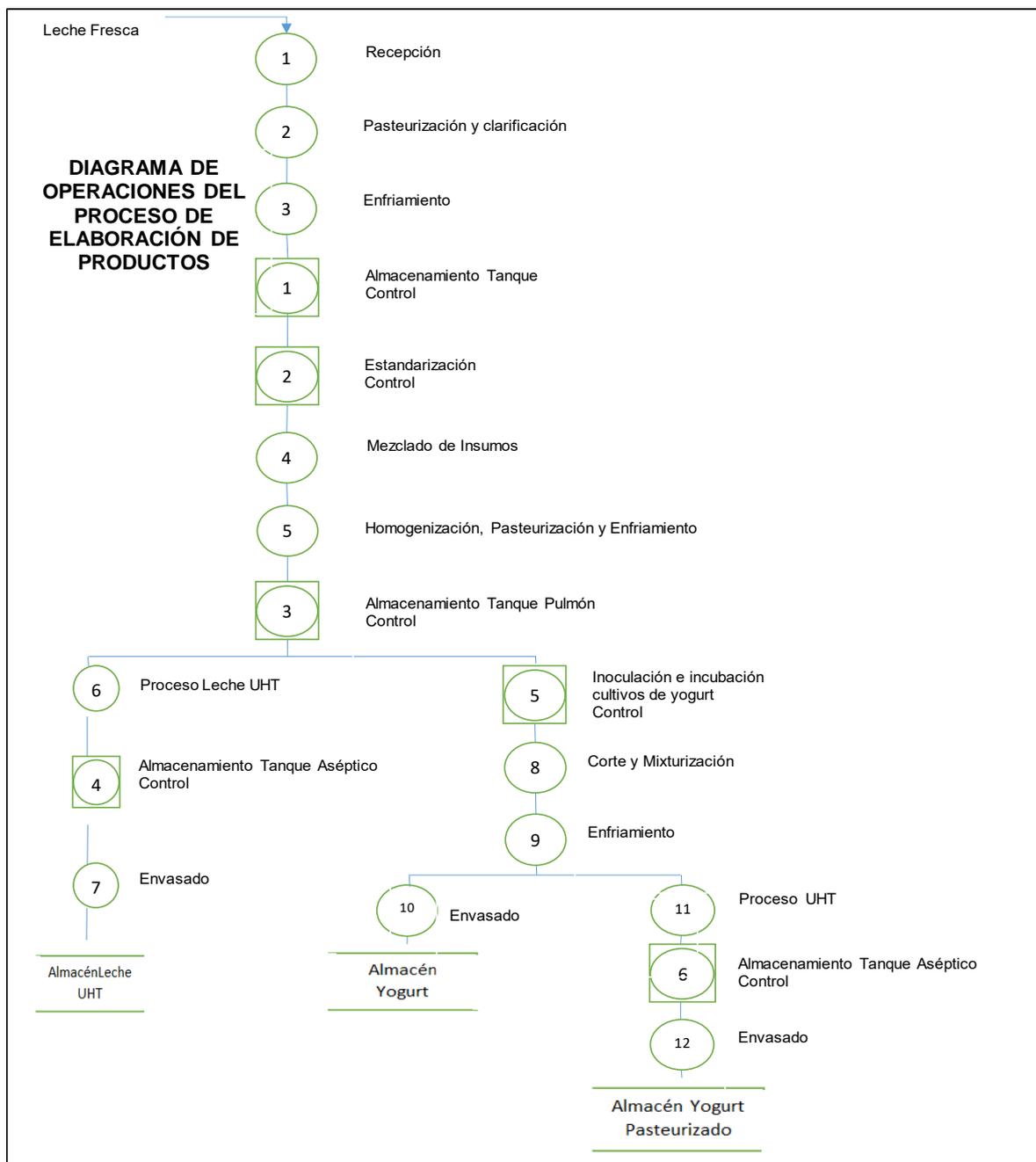
Enfriamiento de la leche cruda.

La leche clarificada y pasteurizada es enfriada en un intercambiador de placas hasta una temperatura menor a 6°C con el fin de retardar el desarrollo de flora microbiana todavía presente.

Almacenamiento de leche cruda.

La leche enfriada es almacenada en tanques isotérmicos a temperatura menor a 6 °C en espera de ser utilizada.

Gráfico 3 Diagrama de Operaciones



Fuente: Indulactea 2023, Elaboración Propia

Estandarización de la leche.

El contenido de grasa y los sólidos totales de la leche es ajustado agregándose leche en polvo o crema para cumplir con las especificaciones, Cuando se utiliza leche concentrada se incorpora agua para estandarizar.

Mezclado y Estandarización de productos.

Se agregan los insumos y otros ingredientes a la licuadora de acuerdo con la formulación de cada producto, para el caso de refrescos y néctares se agrega agua en lugar de leche.

Homogenización, Pasteurización y Enfriamiento

El producto es sometido a presión mediante un sistema de válvulas en el homogenizador con el fin de reducir y uniformizar el tamaño de las partículas del producto. Después de la homogenización el producto es pasteurizado para eliminar la flora patógena para posteriormente ser enfriado a un tanque.

Envasado

Para Yogurt previamente se agregan cultivos a los tanques y después de un periodo de incubación el coagulo de la leche fermentada es cortado mediante agitación para su posterior enfriamiento y envasado de acuerdo a cada una de sus presentaciones en tamaño y formulación

Para Leches UHT antes del envasado la mezcla es sometida a tratamiento térmico UHT, almacenándose en tanques asépticos hasta su programación de envasado. Obteniéndose un producto estéril que mantiene sus características organolépticas y de calidad.

Para yogurt pasteurizado antes del envasado el yogurt es sometida a tratamiento térmico UHT, almacenándose en tanques asépticos hasta su programación de envasado. Finalmente, el producto es envasado de forma aséptica en cada una de sus distintas presentaciones.

2.3.4 Materiales e insumos

Los principales insumos y materiales utilizados para producción en la Empresa se detallan en el Cuadro 40.

Cuadro 40 Insumos y Materiales

Insumos	Materiales
<ul style="list-style-type: none">• Leche cruda• Leche concentrada• Leche en polvo• Leche de soya base• Lactosa• Suero dulce de queso.• Suero Concentrado• Estabilizantes.• Espesantes.• Edulcorantes• Esencias.• Espesantes: povidexrosa, almidón modificado.• Cocos.• Maltodextrinas• Azúcar• Concentrados de fruta.• Pulpas de fruta• Aceite vegetal• Grasa vegetal de palma.• Grasa anhidra de leche.	<ul style="list-style-type: none">• Bolsas para empaque.• Bobinas de etiquetas.• Laminas termocontraibles.• Laminas envasado TETRA• Botellas PET y PAD• Tapas de botellas.• Sorbetes.• Galoneras.• Tapas• Cintas• Cajas TETRA• Planchas de cartón.• Cajas.• Envases.• Casilleros separadores.• Bandejas.

Fuente: Indulactea 2023, Elaboración Propia

2.4 Descripción de la Situación Actual

La modalidad de producción en la Empresa Indulactea es la de fabricación con producción continua por lotes, trabajando con stocks de materia prima y Contra Stocks de producto terminado.

El área de gestión de la demanda realiza los estimados de venta proyectados anuales a corto, mediano y largo plazo.

El área de planificación de la producción en base a los estimados del área de gestión de la demanda envía el requerimiento de producción mensual. Este requerimiento de producción es plasmado en el Máster de Producción A el cual es modificado a mediados del mes de acuerdo con los ajustes necesarios originando el Master de producción B. Finalmente en función del Máster de Producción se elabora una programación semanal de las necesidades de productos terminados.

El área de producción en función de las necesidades semanales por producto elabora el programa diario de producción para todas las líneas de Derivados, considerando capacidades de producción, prioridades de demanda y disponibilidad de recursos.

Para yogurt se tiene un tiempo de vida de 60 días para producto terminado desde su fecha de producción, así como un tiempo de liberación desde su producción de 24 horas por espera de resultados microbiológicos. Esto aunado a tiempos de ciclos de producción largos de 12 horas por lote, obliga a mantener niveles variables de *stock* para poder hacer frente a las variaciones y requerimientos de la demanda; consecuentemente estos altos volúmenes ocasionan en determinados momentos capacidad insuficiente de almacenamiento en las cámaras frigoríficas, generando altos costes de capital inmovilizado por productos producidos y no vendidos. Estos *stocks* para atención de la demanda oscilan de 1 a 2 semanas dependiendo de la estación o promociones de marketing.

Para Leche UHT y yogurt pasteurizado se tiene un tiempo de vida de 180 días para el producto terminado a partir de su fecha de producción, para estos productos se considera un tiempo de liberación de 48 horas (por espera de resultados microbiológicos). Los *stocks* de leche UHT para atención de la demanda de productos terminados oscila alrededor de 13 días, lo cual requiere amplios almacenes, manteniendo un alto costo de almacenamiento para estos productos. Los *stocks* para yogurt pasteurizado oscilan alrededor de 8 días. Así mismo, la falta de insumos y materiales de envases para productos retrasan los lanzamientos de las órdenes de producción (Insumos y materiales trasladados desde otras regiones)

El abastecimiento del insumo principal leche fresca para la planta es constante durante las 24 horas del día, los siete días de la semana, durante los 365 días del año, debido a que los centros de acopio no dejan de recibir (ordeñado de vacas no se puede parar o interrumpir), la leche fresca debe ser usada inmediatamente a su arribo a planta, para evitar posibles complicaciones por acidificación. En temporada de alta demanda una de las principales restricciones es la cantidad de leche fresca libre para utilizar en planta.

A la vez se tiene restricciones en la elaboración de productos por perder capacidad por lavado de equipos con las nuevas políticas vigentes de alérgenos presentes en los productos y tamaños de lote no adecuado genera pérdidas de capacidad de equipos y subutilización, debido a una mezcla no adecuado de productos.

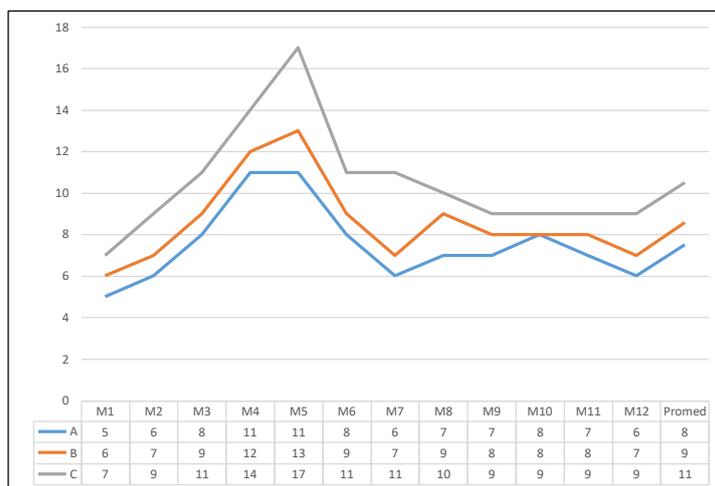
Todo esto sumado a una alta variedad de productos, hace compleja la labor de planificación de la planta.

2.4.1 Descripción de los problemas

Niveles Altos de Stocks

A continuación, en el Gráficos 4, se detalla los niveles de stocks en días para los productos, los cuales fueron considerados de acuerdo con la clasificación ABC utilizado en Indulactea, para la categoría: Yogurt, presentando la siguiente evolución en 12 meses para la Empresa.

Gráfico 4 Clasificación ABC Yogurt



Fuente: Indulactea 2023, Elaboración Propia

En el Gráfico 5, se detalla los niveles de stocks en días para los productos, los cuales fueron considerados de acuerdo con la clasificación ABC utilizado en Indulactea, para la categoría: leches UHT, presentando la siguiente evolución en 12 meses para la Empresa.

Gráfico 5 Clasificación ABC Leches UHT



Fuente: Indulactea 2023, Elaboración Propia

En el Gráfico 6, se detalla los niveles de stocks en días para los productos, los cuales fueron considerados de acuerdo con la clasificación ABC utilizado en Indulactea, para la categoría: yogurt pasteurizado, presentando la siguiente evolución en 12 meses para la Empresa.

Gráfico 6 Clasificación ABC Yogurt Pasteurizado



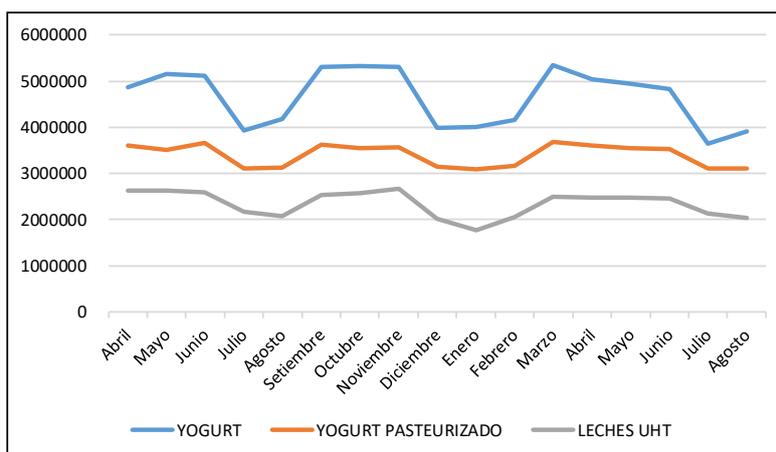
Fuente: Indulactea 2023, Elaboración Propia

El Gerente de operaciones en base a la data observada, está solicitando bajar el stock promedio en días de producto terminado, así como la variación observada dentro de los stocks tanto para los productos de yogurt, yogurt pasteurizado y los de leches UHT, lo cual puede ser conseguido con un programa más eficiente de producción.

Variabilidad de los niveles de producción.

En el Gráfico 7 se presentan los datos de 17 meses de producción tanto para yogurt, yogurt pasteurizado y leches UHT, si bien cierto se observa cierta estacionalidad en la demanda del producto, teniendo menor demanda en diciembre, enero y febrero, existe una fuerte variación en los niveles de producción en los meses siguientes, lo cual nos lleva a sobre stocks y complicaciones para el área de producción debido a que se tiene meses en que se trabaja a baja capacidad versus meses que se exige la planta al 100% de su capacidad, cuando esta demanda fácilmente prevista por medios de pronósticos puede ser más nivelada en los meses para no tener incumplimiento de pedidos por falta de capacidades en las líneas de producción.

Gráfico 7 Producción en Kg por mes

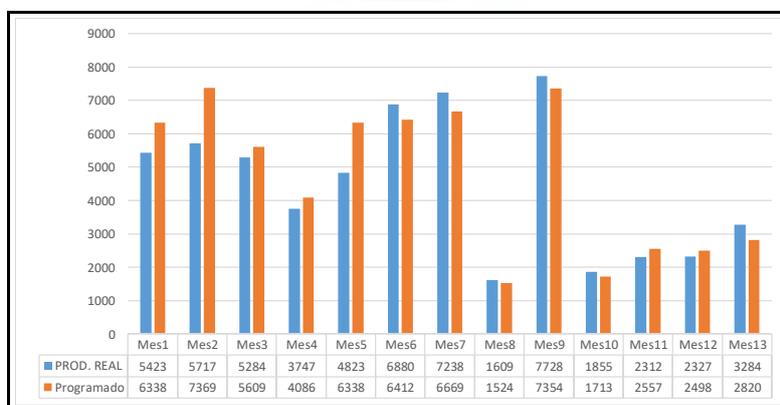


Fuente: Indulactea 2023, Elaboración Propia

Cumplimiento del programa de producción

El Gráfico 8 muestra el cumplimiento del programa de producción para trece meses de gestión en la planta indulactea para la línea estéril, el mes 8 corresponde al mantenimiento mayor anual de la línea. Siendo el porcentaje de cumplimiento promedio de los trece meses de 96.9%, de los meses analizados ocho se encuentran por debajo de lo programado.

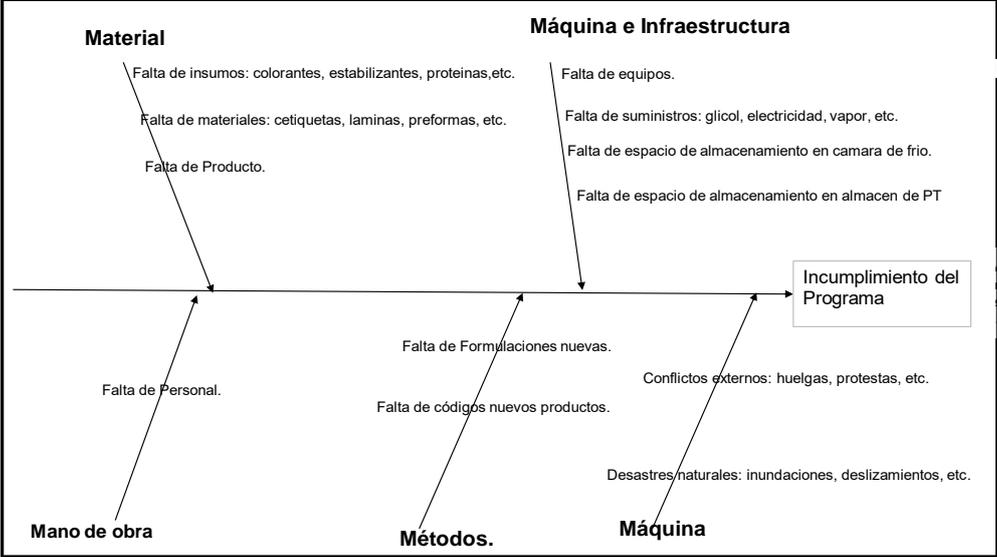
Gráfico 8 Producción Real vs Programado



Fuente: Indulactea 2023. Elaboración Propia.

En el Gráfico 9 espina de pescado, se muestra las principales causas de incumplimiento del programa de producción.

Gráfico 9 Diagrama de Ishikawa



Fuente: Indulactea 2023. Elaboración Propia.

En el Cuadro 41 se plasma el desarrollo de la herramienta de lluvia de ideas realizada en planta indulactea para establecer la que tienen mayor prioridad de las causas presentadas.

Cuadro 41 Lluvia de ideas

Causas encontradas.	Jefe de Producción	Supervisor de producción 1	Supervisor de producción 2	Supervisor de producción 3	Analista de producción	Sumatoria
1 Falta de insumos: colorantes, estabilizantes, proteínas, etc.	3	3	3	2	3	14
2 Falta de materiales: etiquetas, laminas, preformas, etc.	4	5	4	3	4	20
3 Falta de producto.	4	4	3	4	4	19
4 Falta de personal.	2	2	1	1	2	8
5 Falta de formulaciones.	1	0	0	0	0	1
6 Falta de códigos nuevos.	1	0	1	0	0	2
7 Falta de equipos.	5	5	4	5	4	23
8 Falta de suministro: glicol, electricidad, vapor, etc.	3	2	3	2	1	11
9 Falta de espacio de almacenamiento camara de frio.	1	0	1	0	1	3
10 Falta de espacio de almacenamiento almacén de PT.	4	3	4	2	3	16
11 Conflictos externos: huelgas, protestas, etc.	2	1	2	3	2	10
12 Desastres naturales: inundaciones, deslizamientos, etc.	2	2	1	3	1	9

Fuente: Indulactea 2023. Elaboración Propia.

De acuerdo al resultado de los puntajes obtenidos se asigna mayor prioridad a falla de equipos, seguido por falta de materiales, quedando en tercer lugar la falta de producto.

Variación de los indicadores del sistema OEE para la gestión de la producción del programa de planta Indulactea.

El Cuadro 42 muestra la evaluación de 13 meses de producción para el cálculo del OEE de la línea estéril considerando: TTD tiempo total disponible, TTT tiempo total trabajado, CNV capacidad no vendida, paradas programadas y paradas no programadas.

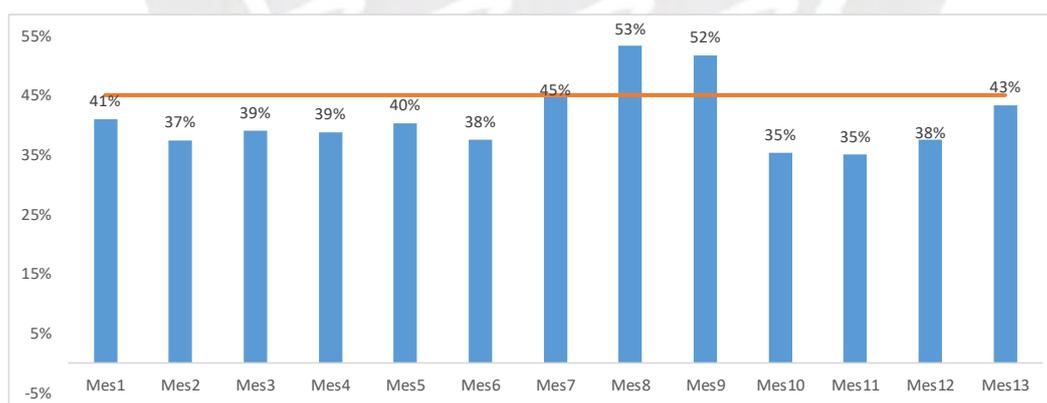
Cuadro 42 OEE Línea estéril por mes

	Mes1	Mes2	Mes3	Mes4	Mes5	Mes6	Mes7	Mes8	Mes9	Mes10	Mes11	Mes12	Mes13	ACUMULADO
OEE(%)	41%	37%	39%	39%	40%	38%	45%	53%	52%	35%	35%	38%	43%	41%
TTD (min)	40320	44640	43200	44640	43200	44640	44640	43200	44640	43200	44640	44640	40320	565920
TTT(min)	12,126	15,295	13,262	9,758	12,323	13,452	17,955	3,829	21,295	6,468	6,569	7,134	8,801	148,267
CNV(min)	10089	3790.5	4104	17269.1	10003.5	5689.55	2280	0	1824	23987.5	24624	25621.5	20028.85	149311.5
PARADAS														0
01 Programada	10,234	14,870	14,996	9,444	12,751	13,000	15,291	37,526	12,482	6,997	7,415	3,347	6,823	165,176
01 Producción	8,522	13,284	8,611	6,443	9,335	8,663	11,883	1,331	9,836	5,257	5,800	3,257	6,823	99,043
02 Mantenimiento	694	0	5,137	2,225	2,647	3,107	2,233	36,024	1,657	912	1,254	0	0	55,889
04 Otros	1,018	1,587	1,248	776	770	1,230	1,176	171	989	827	361	90	0	10,244
02 No Programada	7,871	10,684	10,839	8,169	8,123	12,499	9,113	1,845	9,039	5,748	6,033	8,538	4,667	103,166
02 Mantenimiento	4,772	6,845	7,512	1,861	3,295	7,470	5,111	721	4,390	4,000	3,303	1,274	3,192	53,745
01 Producción	2,307	2,695	2,503	5,232	3,812	3,915	3,493	1,116	3,811	1,222	2,718	2,171	1,410	36,405
03 Logística	792	1,144	824	620	845	1,114	509	8	838	525	11	77	66	7,373
04 Otros	0	0	0	456	171	0	0	0	0	0	0	5,016	0	5,643

Fuente: Indulactea 2023. Elaboración Propia.

En el Gráfico 10 que muestra el periodo de análisis, se observa que no se cumple con la meta establecida para la mayoría de los meses. Solamente se cumple del objetivo establecido de planta (45%) en los meses 7, 8 y 9, siendo este un objetivo bajo para los estándares a nivel mundial.

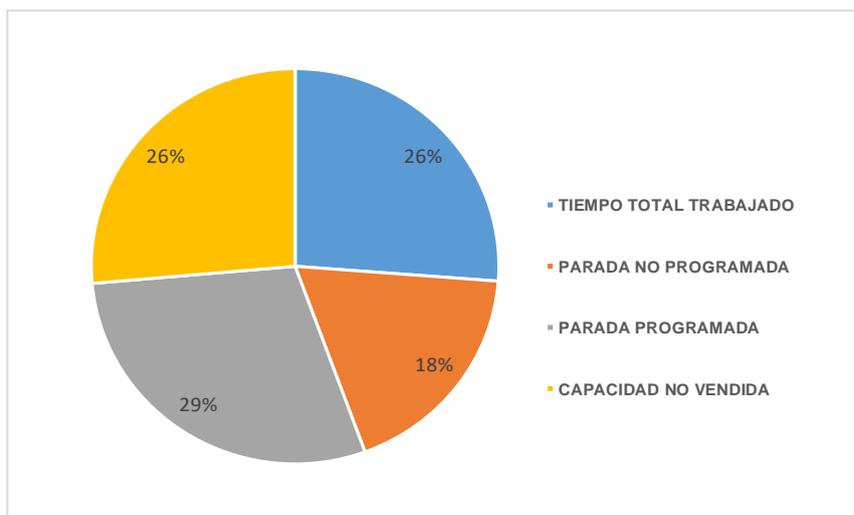
Gráfico 10 OEE Línea estéril



Fuente: Indulactea 2023. Elaboración Propia.

En el Gráfico 11 se observa que del tiempo total se tiene que las paradas programadas representan el mayor porcentaje de tiempo parado, seguido por el porcentaje de tiempo de capacidad no vendida (tiempo en que la planta se encuentra sin requerimiento de producción), siendo esta última similar al tiempo total trabajado.

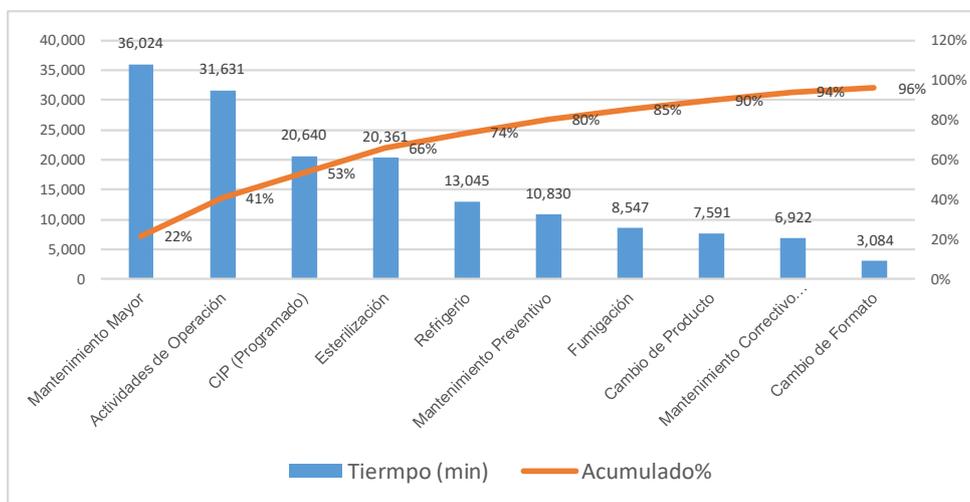
Gráfico 11 OEE distribución



Fuente: Indulactea 2023. Elaboración Propia.

En los Gráficos 12 y 13 siguientes se realiza el análisis de las paradas programadas y no programadas de la línea estéril.

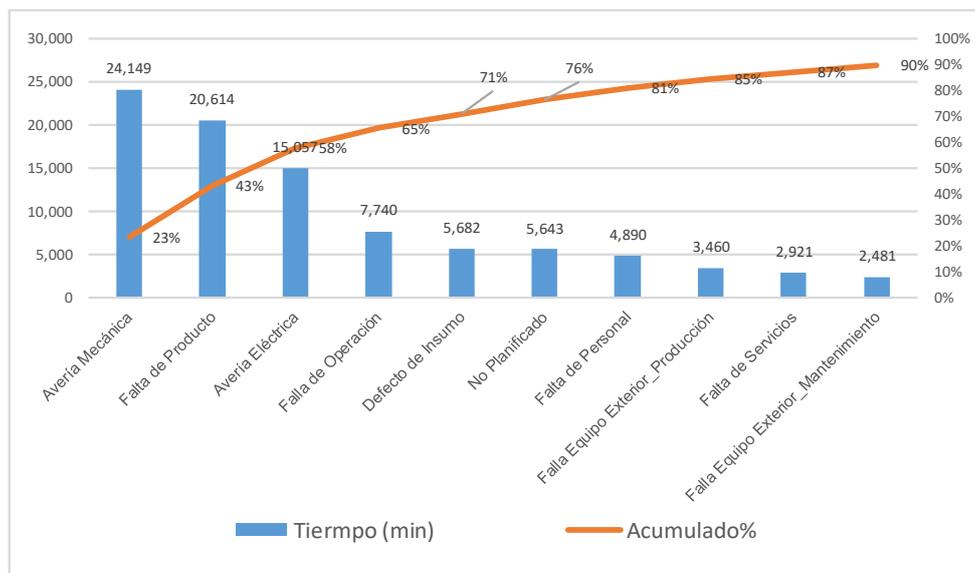
Gráfico 12 Diagrama de Pareto paradas programadas



Fuente: Indulactea 2023. Elaboración Propia.

De la evaluación del Gráfico 12 realizado a las paradas programadas se observa que el mayor porcentaje se atribuye al mantenimiento mayor anual realizado a la línea, actividades de operación, seguido por los lavados programados de la línea y las esterilizaciones que vienen a ser obligatorios según procedimiento después del lavado. El tiempo de fumigación de 5 % ya no se considera ya que se presentó solamente en tiempo de pandemia y ya no se realiza.

Gráfico 13 Diagrama de Pareto paradas no programadas

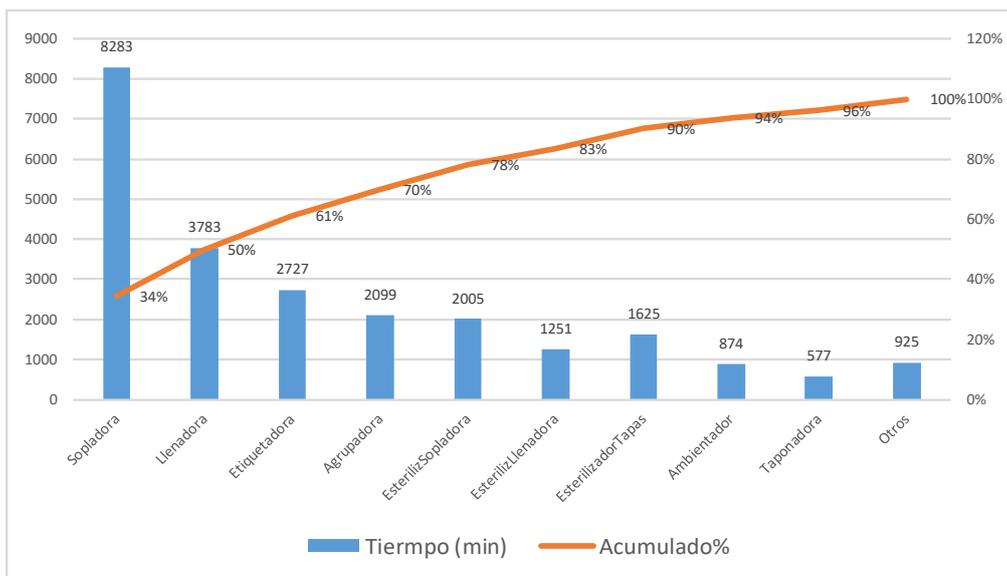


Fuente: Indulactea 2023. Elaboración Propia.

De la evaluación del Gráfico 13 realizado a las paradas no programadas se observa que el mayor porcentaje se atribuye averías mecánicas que se presentaron en la línea, seguido por falta de producto debido a elaboración. En ambos casos le sigue las paradas correctivas por fallas debido a las averías eléctrico con 15%.

En el Gráfico 14 se detalla la explosión de las paradas debido a averías mecánica por equipo de la línea.

Gráfico 14 Averías por equipo



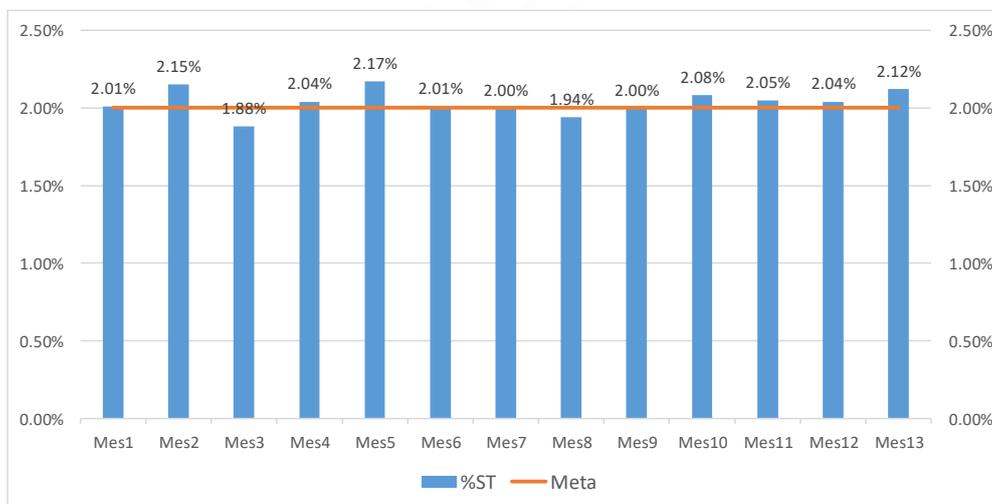
Fuente: Indulactea 2023. Elaboración Propia.

Siendo la que tiene mayor tiempo atribuido a las fallas por averías en la sopladora de la línea estéril con un 34% seguido de averías en la llenadora con un 16%.

Variación en la merma %ST de planta Indulactea.

En el Gráfico 15 detalla que en el periodo analizado de trece meses de la merma de %ST se observa que los valores obtenidos se encuentran por debajo de la meta fijada 2% lo cual representa un sobre costo por exceso de merma.

Gráfico 15 Mermas en % ST

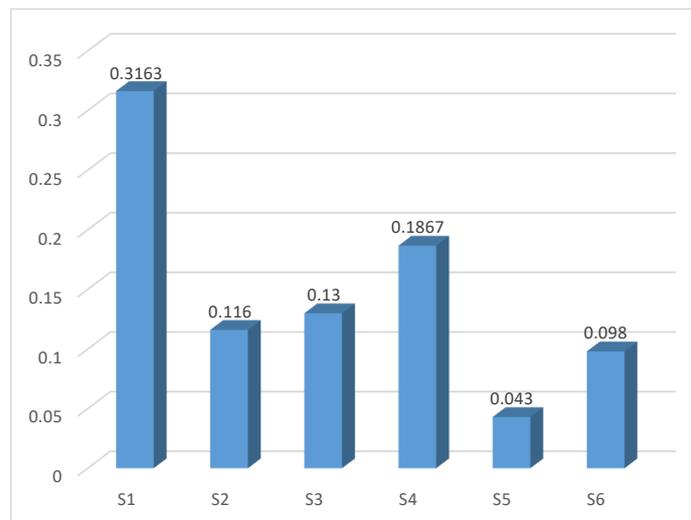


Fuente: Indulactea 2023. Elaboración Propia.

El cálculo de %ST de los productos es un promedio ponderado de todos los ingresos, el valor de %ST es generado por el laboratorio de planta, no se tiene un protocolo que garantice la confiabilidad de los resultados obtenidos en los ensayos (análisis de repetitividad y reproducibilidad)

El Gráfico 16 muestra la desviación que existe entre los valores de % de sólidos totales respecto a la especificación del producto final del muestreo por supervisor encargado de la estandarización realizado en un mes por el laboratorio de la planta indulactea.

Gráfico 16 Variación en % ST por supervisor



Fuente: Indulactea 2023. Elaboración Propia

Del análisis de los datos de la estandarización de %ST de los supervisores de turno se observa que hay una variación considerable asignable por supervisor. Siendo el supervisor cinco el que tiene menor desviación respecto a la especificación para este producto.

CAPITULO 3 PLAN DE MEJORAS.

En este capítulo se desarrollarán las propuestas de mejora para los problemas detallados en la descripción de los problemas del capítulo dos, para la Empresa Indulactea.

3.1 Mejoras a desarrollar.

Se pondrán las mejoras de acuerdo a los problemas descritos.

- Niveles Altos de Stocks, variabilidad de los niveles de producción, Cumplimiento del programa de producción: Implementación de modelo de programación lineal entera.
- Variación de los indicadores del sistema OEE para la gestión de la producción del programa de planta: Implementación piloto TPM y 5S línea estéril.
- Variación en la merma %ST de planta: Mejora de la confiabilidad del sistema de medición de %ST

3.1.1 Implementación de modelo de programación lineal entera

En esta parte como parte de la solución, para afrontar los temas identificados de altos niveles de stocks, variabilidad en los niveles de producción y cumplimiento del programa de producción, desarrollaremos el diseño de un modelo de programación lineal entera. Este modelo nos permitirá encontrar el mix óptimo de producción considerando el menor costo posible y de acuerdo a la demanda solicitada.

Variables de decisión y parámetros del modelo

A continuación, se detalla las variables, parámetros a ser utilizados por el modelo a desarrollar.

Las variables a considerar para el planteamiento del modelo:

1. Y_{ijk} = Cantidad de unidades producidas de la sección i del producto j en el periodo k.
2. IFY_{ijk} = Inventario Final de la sección i del producto j en el periodo k.

La unidad a considerar para Y_{ijk} y IFY_{ijk} en miles de unidades.

Los Parámetros a considerar para el planteamiento del modelo:

MY_{ij} = Margen de la unidad producida de la sección i del producto j.

DY_{ijk} = Demanda de la unidad producida de la sección i del producto j en el periodo k.

WY_{ij} = Peso de la unidad producida de la sección i del producto j.

KPY_i = Capacidad en kg de pasteurizado de la sección i.

$RELY_{ij}$ = Ratio de elaboración de la unidad producida de la sección i del producto j.

$KELY_i$ = Capacidad de horas de elaboración de la sección i.

$RENY_{ij}$ = Ratio de envasado de la unidad producida de la sección i del producto j.

$KENY_i$ = Capacidad de horas de envasado de la sección i.

$RCAY_{ij}$ = Ratio de capacidad de almacenamiento de la unidad producida de la sección i del producto j.

$KCAY_i$ = Capacidad de almacenamiento de la sección i.

$CPEY_{ij}$ = Cantidad porcentual leche entera de la unidad producida de la sección i del producto j.

$KPEY_i$ = Capacidad de leche entera de la sección i.

$CPDY_{ij}$ = Cantidad porcentual leche descremada de la unidad producida de la sección i del producto j.

$KPDY_i$ = Capacidad de la leche descremada de la sección i.

Donde:

- Secciones a considerar: refrigerados y no refrigerados $i=1,2$
- Trece productos por cada sección $j= 1..13$
- Periodo de tiempo a considerar en meses $K= 1..12$

Para Y tendremos la cantidad total de $2 * 13 * 12 = 312$ variables.

Para IFY tendremos la cantidad total de $2 * 13 * 12 = 312$ variables.

Teniendo un total de 624 variables a considerar en el modelo.

Función Objetivo.

Para la definición de la función objetivo consideraremos Lograr la mayor el margen de ingreso total por los productos a producir en la sección refrigerados y no refrigerados. En el Cuadro 43 se muestran los parámetros a utilizar en el modelo.

Cuadro 43 Margen de ganancia por producto.

	MY_{i1}	MY_{i2}	MY_{i3}	MY_{i4}	MY_{i5}	MY_{i6}	MY_{i7}	MY_{i8}	MY_{i9}	MY_{i10}	MY_{i11}	MY_{i12}	MY_{i13}
$i=1$	2.8	1.4	0.7	1.8	0.13	1.21	1	2.1	2.5	2.6	2.41	3.55	2.9
$i=2$	2.94	1.47	0.735	1.89	0.1365	1.2705	1.05	2.205	2.625	2.73	2.5305	3.7275	3.045

Fuente: Indulactea 2023. Elaboración Propia.

Por lo cual tenemos:

$$Max Z = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^{13} \sum_{k=1}^{12} Y_{ijk} * MY_{ij} \quad (180)$$

Restricciones del modelo.

Para el desarrollo del modelo tomaremos en cuenta:

1. Restricciones de capacidad de proceso.
 - Pasteurizado.
2. Restricciones de mano de obra: horas-hombre.
 - Elaboración.
 - Envasado.
3. Restricciones de inventario, relacionados a la demanda y política de stocks.
4. Restricciones de Capacidades de almacenamiento del Producto Terminado.
5. Restricciones de Formulación.
 - Disponibilidad de leche entera fresca.
 - Disponibilidad de leche descremada fresca

A continuación, se detalla las restricciones a ser utilizadas por el modelo a desarrollar.

1 Restricciones de capacidad de proceso.

Restricciones de pasteurización

El Producto elaborado debe ser inmediatamente pasteurizado para su adecuada conservación, en espera de ser envasado. Para el cálculo de la capacidad de pasteurización consideraremos:

- La cantidad total de unidades totales a producir multiplicado por su peso de cada unidad, de cada uno de los productos a elaborar.
- La velocidad nominal en kg / hora de los equipos de pasteurizado.
- La capacidad total de pasteurizado para las secciones de refrigerados y no refrigerados es de 4200 y 12500 en miles de kilos respectivamente.

Por lo cual tenemos:

$$\sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^{13} \sum_{k=1}^{12} Y_{ijk} * W_{ij} \leq KPY_i \quad (181)$$

2 Restricciones de mano de obra: horas - hombre.

En el Cuadro 44 y Cuadro 45 para cada sección de la planta, se detalla la cantidad de horas hombres de acuerdo al número de personas que trabajan en la sección. Para el cálculo de las horas hombres consideraremos las áreas divididas de elaboración y envasado.

Elaboración

Cuadro 44 Ratio de Horas hombres elaboración.

RATIOS ELABORACIÓN											
Líneas Elaboración	# horas / turno	# turnos / día	Días / semana	Miles Kg Prod. / día	Miles Kg Prod. / semana	Miles Kg Prod. / mes	Miles Kg Prod. / año	personal / turno	total de personal	Horas- Hombre / día	Ratio
Mezcla	8	3	6	180	1,080	4,680	56,160	1	3	24	0.133
Pasteurización	8	3	6	360	2,160	9,360	112,320	1	3	24	0.067
Incubación	8	3	6	125	750	3,250	39,000	1	3	24	0.192
											0.392

Fuente: Indulactea 2023. Elaboración Propia.

Dado que la línea de elaboración comprende las etapas de mezcla, pasteurización e incubación o proceso UHT (con tiempos similares) la ratio de elaboración se calcula con la suma de todos. Siendo 0.392 el valor obtenido para cada uno de los productos. Con este cálculo para ambas secciones tenemos las horas hombres disponibles para elaboración de refrigerados 3550 y para no refrigerados 10650.

Por lo cual tenemos:

$$\sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^{13} \sum_{k=1}^{12} Y_{ijk} * RELY_{ij} \leq KELY_i \quad (182)$$

Envasado

Cuadro 45 Ratio de Horas hombres envasado.

RATIOS ENVASADO											
Líneas Envasado	# horas / turno	# turnos / día	Días / semana	Kg Prod. / día	Kg Prod. / semana	Kg Prod. / mes	Kg Prod. / año	personal / turno	total de personal	Horas-Hombre / día	Ratio
Pet Aséptico	8	3	6	100	600	2,600	31,200	3	9	72	0.720
Yogurt Vasos	8	3	6	8.5	51	221	2,652	1	3	24	2.824
Yogurt Botellas	8	3	6	90.0	540	2,340	28,080	2	6	48	0.533

Fuente: Indulactea 2023. Elaboración Propia.

En el Cuadro 46 se detalla las ratios para los 13 productos de acuerdo a la presentación por cada producto y a la vez se considera que las líneas de envasado diferentes.

Cuadro 46 Ratio por producto de Horas hombres envasado.

RENY _{i1}	RENY _{i2}	RENY _{i3}	RENY _{i4}	RENY _{i5}	RENY _{i6}	RENY _{i7}	RENY _{i8}	RENY _{i9}	RENY _{i10}	RENY _{i11}	RENY _{i12}	RENY _{i13}
0.533	0.265	0.130	2.824	2.824	0.720	0.360	0.720	0.720	0.720	0.360	0.360	0.360

Fuente: Indulactea 2023. Elaboración Propia.

Realizando este mismo cálculo para las dos secciones tenemos las horas hombres disponibles para envasado de refrigerados 10700 y para no refrigerados 32000.

Por lo cual tenemos las siguientes restricciones:

$$\sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^{13} \sum_{k=1}^{12} Y_{ijk} * RENY_{ij} \leq KENY_i \quad (183)$$

3 Restricciones de inventario, relacionados a la demanda y política de stocks.

Para las restricciones de demanda de cada uno de los productos y de las secciones se tiene la demanda por cada mes, con lo cual tendríamos las siguientes restricciones:

Para el periodo 1 se tiene

$$Y_{ijk} - IFY_{ijk} = DY_{ijk}$$

A partir del periodo 2 se tiene

$$Y_{ijk} + IFY_{i,j,k-1} - IFY_{ijk} = DY_{ijk}$$

Para todos los productos se considera un stock mínimo de 10 (en miles de unidades), por lo cual nuestra restricción quedaría:

IFYijk >= 10

En el Cuadro 47 se detalla la demanda mensual para un ciclo de doce meses completo.

Cuadro 47 Demanda de producto por periodo.

	mes1	mes2	mes3	mes4	mes5	mes6	mes7	mes8	mes9	mes10	mes11	mes12
D11	1397	1585	2274	1895	1588	1985	1868	1494	1431	1198	1220	968
D12	324	183	241	116	167	163	190	178	185	197	200	166
D13	1444	1477	1504	2155	1944	2044	1888	2111	2116	2221	1783	2193
D14	580	723	772	819	789	1105	1150	1173	1041	956	883	716
D15	2177	1603	2421	1358	1579	1604	2136	2135	2426	2114	2291	1810
D16	957	52	478	1377	1484	1191	1287	392	978	1096	706	1178
D17	371	714	289	922	1299	1145	600	693	784	1132	1116	325
D18	22	22	149	20	19	28	137	89	61	22	35	31
D19	13	13	89	12	11	17	82	53	36	13	21	19
D110	11	11	74	10	9	14	68	44	30	11	17	15
D111	135	230	383	149	723	525	616	300	566	275	340	155
D112	45	44	125	60	61	63	64	35	34	34	45	35
D113	47	160	141	47	260	85	44	47	97	47	67	25
D21	4191	4756	6823	5685	4766	5955	5605	4483	4294	3594	3662	2905
D22	973	549	724	350	501	490	570	534	557	592	602	500
D23	4334	4431	4514	6465	5834	6134	5666	6333	6348	6665	5349	6581
D24	1742	2171	2316	2458	2367	3315	3452	3520	3124	2869	2651	2150
D25	6531	4809	7263	4075	4738	4812	6409	6405	7280	6343	6874	5430
D26	2872	157	1435	4131	4454	3573	3863	1177	2935	3288	2119	3536
D27	1115	2144	868	2766	3899	3436	1800	2081	2354	3396	3350	975
D28	68	68	449	60	58	86	413	268	183	67	107	95
D29	41	41	269	36	35	52	247	160	109	40	64	57
D210	34	34	224	30	29	43	206	134	91	33	53	47
D211	406	692	1151	449	2171	1575	1850	900	1698	826	1020	465
D212	135	132	377	180	183	190	193	107	104	103	136	106
D213	141	482	425	141	782	257	133	141	291	141	201	77

Fuente: Indulactea 2023. Elaboración Propia.

4 Restricciones de capacidades de almacenamiento del producto terminado.

En el Cuadro 48 se detalla la ratio para las restricciones de capacidad de almacenamiento de cada uno de los productos, se considera el número de unidades que conforman un palet y el número de palets que se tiene disponible para almacenar, al dividirlo en miles de unidades se obtiene la ratio a utilizar por cada producto.

Cuadro 48 Ratio almacenamiento por producto.

RCAY _{i1}	RCAY _{i2}	RCAY _{i3}	RCAY _{i4}	RCAY _{i5}	RCAY _{i6}	RCAY _{i7}	RCAY _{i8}	RCAY _{i9}	RCAY _{i10}	RCAY _{i11}	RCAY _{i12}	RCAY _{i13}
1.42	0.71	0.29	0.83	0.26	1.33	0.41	1.33	1.33	1.33	0.41	0.29	0.41

Fuente: Indulactea 2023. Elaboración Propia.

Con lo cual tendríamos las siguientes restricciones:

$$\sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^{13} \sum_{k=1}^{12} Y_{ijk} * RCAY_{ij} \leq KCA Y_i \quad (184)$$

5 Restricciones de formulación leche entera fresca y leche descremada fresca.

Para las restricciones de formulación de leche de cada uno de los productos se considera el porcentaje de participación de la leche en la formulación total, en el Cuadro 49 y 50 se detalla la cantidad porcentual para cada uno de los productos.

Para leche entera fresca:

Cuadro 49 Ratio consumo leche fresca por producto.

CPEY _{i1}	CPEY _{i2}	CPEY _{i3}	CPEY _{i4}	CPEY _{i5}	CPEY _{i6}	CPEY _{i7}	CPEY _{i8}	CPEY _{i9}	CPEY _{i10}	CPEY _{i11}	CPEY _{i12}	CPEY _{i13}
80%	80%	80%	60%	15%	70%	70%	100%	45%	40%	25%	25%	25%

Fuente: Indulactea 2023. Elaboración Propia.

Para leche descremada fresca:

Cuadro 50 Ratio consumo leche descremada fresca por producto.

CPDY _{i1}	CPDY _{i2}	CPDY _{i3}	CPDY _{i4}	CPDY _{i5}	CPDY _{i6}	CPDY _{i7}	CPDY _{i8}	CPDY _{i9}	CPDY _{i10}	CPDY _{i11}	CPDY _{i12}	CPDY _{i13}
15%	15%	15%	30%	75%	10%	10%	0%	55%	60%	60%	60%	60%

Fuente: Indulactea 2023. Elaboración Propia.

Con lo cual tendríamos las siguientes restricciones:

$$\sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^{13} \sum_{k=1}^{12} Y_{ijk} * CPEY_{ij} \leq KPEY_i \quad (185)$$

$$\sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^{13} \sum_{k=1}^{12} Y_{ijk} * CPDY_{ij} \leq KPDY_i \quad (186)$$

Resumen del modelo.

Función objetivo:

$$\text{Max } Z = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^{13} \sum_{k=1}^{12} Y_{ijk} * MY_{ij} \quad (187)$$

Sujeto a:

$$\sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^{13} \sum_{k=1}^{12} Y_{ijk} * W_{ij} \leq KPY_i \quad (188)$$

$$\sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^{13} \sum_{k=1}^{12} Y_{ijk} * RELY_{ij} \leq KELY_i \quad (189)$$

$$\sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^{13} \sum_{k=1}^{12} Y_{ijk} * RENY_{ij} \leq KENY_i \quad (190)$$

$$IFY_{ijk} \geq 10 \quad (191)$$

Para k= 1

$$Y_{ijk} - IFY_{ijk} = DY_{ijk} \quad (192)$$

Para K >1

$$Y_{ijk} + IFY_{i,j,k-1} - IFY_{ijk} = DY_{ijk} \quad (193)$$

$$\sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^{13} \sum_{k=1}^{12} Y_{ijk} * RCAY_{ij} \leq KCAY_i \quad (194)$$

$$\sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^{13} \sum_{k=1}^{12} Y_{ijk} * CPEY_{ij} \leq KPEY_i \quad (195)$$

$$\sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^{13} \sum_{k=1}^{12} Y_{ijk} * CPDY_{ij} \leq KPDY_i \quad (196)$$

Con $Y_{ijk}, IFY_{ijk} > 0$

3.1.2 Implementación programa piloto de TPM y 5S para la línea estéril

De la información recopilada de los diagramas de Pareto presentados en el capítulo anterior, tenemos que el mayor porcentaje de paradas programadas se encuentra asignadas a:

- Actividades de operación (cambio de producto, formato, pases de agua), se verifica que algunos de los operadores al momento de cargar los datos lo ingresan por separado y otro grupo lo carga a este ítem.
- Lavados y esterilizaciones. (Lavados comprende soda, ácido y enjuague; mientras la esterilización agua a temperatura)

Para paradas no programadas el mayor porcentaje se encuentra asignadas a:

- Averías: mecánicas y eléctricas: siendo la sopladora y la llenadora las que presentan mayor incidencia de Falla.
- Falta de producto: el producto no se encuentra disponible para ser envasado, y línea de envasado tiene que esperar: ya sea por falta de estandarización o cuello de botella elaboración

De acuerdo a la filosofía de calidad Lean Manufacturing que tiene como objetivo la minimización del consumo de recursos que no agregan valor agregado al proceso y por consiguiente al producto final. Utilizaremos dos de sus herramientas:

1. TPM mantenimiento Producto Total.
2. 5S

Implementación piloto TPM línea estéril

Con esta herramienta nos centraremos en garantizar: eliminación de problemas por fallas del equipo y proceso, eliminar deterioro por descuido, aumentar el conocimiento técnico (experiencia) de los trabajadores sobre las líneas de producción en las que trabajan.

Debemos evitar pérdidas por: fallos, puesta a punto, operación, reducción de velocidad, defectos, programación, etc.

Para lo cual los trabajadores realizarán un mantenimiento autónomo, el cual está compuesto por las actividades diarias a realizar: inspección, limpieza, lubricación, ajustes, operación, intervenciones menores y cambios de formato con el objetivo de mantener al equipo en mejores condiciones funcionamiento.

1er paso: Realizar una limpieza profunda de la zona, sobre todo las de difícil acceso, para lo cual distribuiremos el personal de acuerdo a las zonas identificadas de la línea estéril: elaboración, soplado /envasado, y distribución.

2do paso: Levantamiento de estándares de limpieza, inspección, lubricación y ajustes.

De acuerdo a las necesidades del área se desarrollan los estándares a trabajar en los puntos mencionados.

Gráfico 17 y 18 Lecciones de Un Punto: Orden-Limpieza y Lubricación.

TPM		LECCION DE UN PUNTO (OPL)		EMPRESA INDULACTEA	
Conocimiento	<input type="checkbox"/>	Conocimiento	<input checked="" type="checkbox"/>		
Caso De Mejora	<input checked="" type="checkbox"/>	Caso De Mejora	<input type="checkbox"/>		
Problema encontrado	<input type="checkbox"/>	Problema encontrado	<input type="checkbox"/>		
TITULO : ORDEN Y LIMPIEZA DURANTE LOS MANTENIMIENTOS					
<p>Antes del inicio de cualquier trabajo de manto, la zona debe ser aislada correctamente para evitar el transito de personas ajenas al trabajo.</p> <p>Se debe evitar que cualquier sustancia como aceites, grasas, químicos tengan contacto con los preproductos elaborados</p> 					
<ol style="list-style-type: none"> 1 Personal encargado del manto debe ingresar a la zona, con el adecuado uniforme (malla para el cabello, cubre calzado, mandiles, etc) 2 Personal encargado del manto debe tener un inventario de todas las herramientas a ingresar a la zona, para evitar al final de los trabajos dejar en planta las herramientas. 3 Se debe utilizar solamente lubricantes de grado alimenticio en las partes en contacto con producto 4 Al finalizar el mantenimiento de la línea se debe asegurar la limpieza de la zona: No dejar piezas sueltas de los equipos. No dejar la zona desordenada. No dejar la zona con restos de grasa. 					
Elaborado por:	Carlos Alfonso Rojas Lava			Participantes	4
				Fecha	19-Set-23
TPM		LECCION DE UN PUNTO (OPL)		EMPRESA INDULACTEA	
Conocimiento	<input checked="" type="checkbox"/>	Conocimiento	<input checked="" type="checkbox"/>		
Caso De Mejora	<input type="checkbox"/>	Caso De Mejora	<input type="checkbox"/>		
Problema encontrado	<input type="checkbox"/>	Problema encontrado	<input type="checkbox"/>		
TITULO : LUBRICACIÓN DE EQUIPOS					
<p>Para reducir la fricción y en consecuencia para prevenir la resistencia entre dos partes móviles se requiere la lubricación de los equipos.</p> <p>Es importante por: Reduce la fricción y el rozamiento, aumenta la vida útil, ayuda a disminuir pérdidas energéticas.</p> 					
<ol style="list-style-type: none"> 1 Los trabajadores son los encargados de lubricar sus equipos. 2 Se debe contar con almacenamiento en planta de los lubricantes a usar. 3 Reportar fugas de lubricantes. 4 Llevar los registros de lubricación y limpieza de los equipos que tienen a su cargo. <p>LOS ENVASES Y EMBALAJES DEL PRODUCTO NO DEBEN UTILIZAR COMO RECIPIENTES CONTENEDORES DE ACEITE O GRASAS</p>					
Elaborado por:	Carlos Alfonso Rojas Lava			Participantes	6
				Fecha	20-Set-23

Fuente: Indulactea 2023. Elaboración Propia

A la vez en el cuadro 51 se desarrollan los planes de limpieza, inspección y lubricación.

Cuadro 51 Programa de Limpieza, inspección y lubricación.

	SISTEMAS	ACTIVIDAD	COMPONENTE	FRECUENCIA horas	LUBRICANTE Y/O MATERIALES Y/O MODO	GOLPES / ESTANDAR	EJECUTOR	MES:												
								FRECUENCIA HORAS												
								48	96	144								2880		
ENVASADO - LLENADORA	TAPONADORA	LUBRICACIÓN	Rodamiento Central	48	Grasa tipo B Dello	45	OPERADOR PRODUCCION													
	TAPONADORA	LUBRICACIÓN	Mecanismo centralizado	48	Grasa tipo B Dello	45	OPERADOR PRODUCCION													
	TAPONADORA	LUBRICACIÓN	Rodamiento inferior de columna	48	Grasa tipo B Dello	45	OPERADOR PRODUCCION													
	TAPONADORA	LUBRICACIÓN	Rodamiento superior de columna	48	Grasa tipo B Dello	45	OPERADOR PRODUCCION													
	TAPONADORA	LUBRICACIÓN	Engranaje Dirección torreta	48	Grasa tipo B Dello	45	OPERADOR PRODUCCION													
	TAPONADORA	LUBRICACIÓN	Sistema de transmisión Central	500	Grasa tipo B Dello	500	OPERADOR PRODUCCION													
	TAPONADORA	LIMPIEZA	Puntos de engranaje, exceso de grasa	500	Trapo y desengrasante	-	OPERADOR PRODUCCION													
	TAPONADORA	INSPECCIÓN	Revisión del nivel de grasa.	200	Visual	Niv. Max.	OPERADOR PRODUCCION													
	TAPONADORA	INSPECCIÓN	Revisión de fugas de Mainfold.	200	Visual	Sin fugas.	OPERADOR PRODUCCION													
	TAPONADORA	INSPECCIÓN	Revisión de fugas de Mangueras.	200	Visual	Sin fugas.	OPERADOR PRODUCCION													
	TAPONADORA	INSPECCIÓN	Revisión de Presión neumática	200	Visual	6-7 bar	OPERADOR PRODUCCION													

Fuente: Indulactea 2023. Elaboración Propia

3er paso: Capacitación continua al personal.

Con las capacitaciones continuas para el personal de la línea estéril lograremos mantener lo implementado en el tiempo.

Implementación piloto 5S línea estéril

Para mejorar las condiciones de trabajo de las áreas de la Empresa, utilizaremos la herramienta de las 5s con el objetivo de lograr mejores eficiencias. Por tener un mayor requerimiento de producción y eficiencia, se define la línea estéril como piloto para el desarrollo de la implementación. Se iniciará con la Implementación Piloto en la línea estéril.

En el cuadro 52 se detalla la formación de equipos de trabajo de la línea estéril.

Cuadro 52 Equipo de trabajo 5S.

LIDER EQUIPO 5s: SUPERVISOR 1	SOPLADO Y ENVASADO LÍNEA ESTÉRIL	OPERADOR DE ENVASADO 1 (COORDINADOR)
		OPERADOR DE ENVASADO 2
		OPERADOR DE ENVASADO 3
		OPERADOR DE ENVASADO 4
	ETIQUETADO Y EMPACADO LÍNEA ESTÉRIL	OPERADOR DE ETIQUETADO 1
		OPERADOR DE ETIQUETADO 2
		OPERADOR DE ETIQUETADO 3
	PALETIZADO LÍNEA ESTÉRIL	OPERADOR DE PALETIZADO 1
		OPERADOR DE PALETIZADO 2
		OPERADOR DE PALETIZADO 3
		OPERADOR DE PALETIZADO 4

Fuente: Indulactea 2023. Elaboración Propia

Siendo la responsabilidad de todos los integrantes del equipo: mantener el área de la línea aséptica ordenada y limpia en todo momento.

A continuación, en el Cuadro 53, se detalla las funciones para todos los miembros del equipo.

Cuadro 53 Funciones

<p>LIDER 5S</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gestionar todas las tareas necesarias con el coordinador del equipo. • Coordinar con el encargado de materiales, el correcto abastecimiento. • Seguimiento a las auditorías de autogestión <p>COORDINADOR 5S</p> <ul style="list-style-type: none"> • Reportar al líder 5s. • Reportar stocks de almacenamiento, revisando stocks mínimo y máximo. • Revisar el correcto rotulado de los equipos. 	<p>INTEGRANTES DEL EQUIPO 5S</p> <ul style="list-style-type: none"> • Confeccionar listado de elementos necesarios por zonas. • Realizar el pedido de suministros. • Mantener orden y limpieza. • Realizar cambio de carteles deteriorados. • Identificar zonas para colocación de los distintos elementos. • Confeccionar croquis de la zona. • Reportar las condiciones que afecten el cumplimiento del orden y limpieza de la zona.
--	--

Fuente: Indulactea 2023. Elaboración Propia

Implementar *SEIRI* (clasificar)

En función a la frecuencia de uso y la cantidad necesaria para el área de trabajo, considerando:

- Bajo: cosas no usadas en un periodo anual deben ser almacenadas a distancia.
- Promedio: cosas usadas en el último año y con una frecuencia mensual, deben ser almacenados en un lugar central cercana la zona de trabajo.
- Alto: cosas utilizadas con una frecuencia menor a una semana, almacenar en la misma zona de trabajo de acuerdo a consumos.

Implementar *SEITON* (ordenar)

En el Cuadro 54 se detalla la ubicación y disposición para cada cosa, teniéndolo disponible para su utilización inmediata. Debe tener fácil acceso para retirar y guardar.

Cuadro 54 Ordenar 5S.

INDULACTEA		Programa 5s – Paso Ordenar				
Área:Línea estéril		Zona: Sala de acondicionamiento de materiales				
Responsable: Operador envasado		Frecuencia de Revisión: Mensual				
	Denominación	Lugar de Almacenamiento	Und.	Código de Ubicación	Inventario	
					Mín.	Máx.
1	Cajas con Preformas	Sala Acondicionamiento materiales	Cja.	DTP-CAJ PREFORMAS	1	7
2	Cajas con Tapas	Sala Acondicionamiento materiales	Cja.	DTP-CAJ TAPAS	1	8
3	Cinta	Mesa de Trabajo 1	Und.	DTP-MT01-A	1	1
4	Cuaderno Control Preformas y Tapas	Mesa de Trabajo 1	Und.	DTP-MT01-A	1	1
5	Estoca	Sala Acondicionamiento materiales	Und.	DTP- ESTOCA	1	1
6	Extintor	Sala Acondicionamiento materiales	Und.	DTP -EXTINTOR	1	1
7	Lapicero	Mesa de Trabajo 1	Und.	DTP-MT01-A	1	1
8	Mesa de trabajo 1	Sala Acondicionamiento materiales	Und.	DTP -MT01	1	1
9	Plumón	Mesa de Trabajo 1	Und.	DTP-MT01-A	1	1
10	Porta bolsa	Sala Acondicionamiento materiales	Und.	DTP-PORTA BOLSA	1	2

Fuente: Indulactea 2023. Elaboración Propia

Implementar *SEISO* (limpiar)

Para detectar una anomalía, antes que se convierta en falla, a través de una correcta limpieza de los equipos a su cargo, el operador podrá realizar mejores inspecciones. En el Cuadro 55 se detalla el plan de limpieza a implementar para el área envasado-llenadora.

Se consideran los siguientes criterios para la evaluación:

- No se evidencia la presencia de objetos innecesarios
- Los objetos necesarios se encuentran bien ubicados.
- Existe una buena demarcación de las áreas de trabajo, circulación y almacenamiento.
- Los elementos necesarios, están rotulados, marcados, y señalizados.
- Los tachos que se usa en el área son los autorizados, están en buen estado y los residuos están correctamente segregados
- Se evidencia Impacto visual positivo al llegar al área de trabajo. Tablero actualizado.
- Se puede evidenciar la cultura de la quinta S y el Compromiso de todos los integrantes. (actas de reuniones, capacitaciones)
- Se encuentra el equipo y sus alrededores limpio y aseado.

Teniendo de acuerdo a la evaluación los siguientes resultados:

- No se evidencia cultura de trabajo de 5s
- Se evidencia parcialmente cultura de trabajo 5s
- Implementación Proceso
- Implementación Bueno
- Se evidencia un cumplimiento estricto de la cultura de trabajo 5s

3.1.3 Mejora de la confiabilidad del sistema de medición de %ST

El cálculo de %ST de los productos es un promedio ponderado de todos los ingresos, el valor de %ST es generado por el laboratorio de planta, no se tiene un protocolo que garantice la confiabilidad de los resultados obtenidos en los ensayos. Para evaluar la confiabilidad de estos resultados, se realizará a continuación el análisis de repetitividad y reproducibilidad del sistema de medición de sólidos realizado en por el personal del laboratorio de planta.

Análisis de repetitividad y reproducibilidad (R&R) del sistema de medición

Repetibilidad

La repetibilidad es la variación causada por el dispositivo de medición. Es la variación que se observa cuando el mismo operador mide la misma parte muchas veces, usando el mismo sistema de medición, bajo las mismas condiciones.

Reproducibilidad

La reproducibilidad es la variación causada por el sistema de medición. Es la variación que se observa cuando diferentes operadores miden la misma parte muchas veces, usando el mismo sistema de medición, bajo las mismas condiciones.

<https://support.minitab.com/es-mx/minitab/20/help-and-how-to/quality-and-process-improvement/measurement-system-analysis/supporting-topics/gage-r-r-analyses/what-is-a-gage-r-r-study/>

Para el estudio se considerará trabajar con muestras de la línea estéril para un producto con 11.85 % de sólidos totales, para lo cual tomaremos muestras en tres etapas del envasado de producto: muestras A inicio, muestras B intermedio y Muestras C final de envasado para un batch de producción.

El estudio será realizado, considerando a los cuatro trabajadores del laboratorio (uno por cada turno más un personal de descanso). Realizaremos un estudio anidado, donde cada muestra es única para cada trabajador; ninguna botella envasada individual es analizada por dos trabajadores.

A continuación, en los Cuadros 56, 57, 58 y 59; se detalla la data obtenida por cada uno de los trabajadores del estudio de medición.

Cuadro 56 Data de %ST trabajador 1.

Elemento	Sub Grupo	N. de Muestra	Encargado	% Sólidos
1	A	3	Trabajador1	11.936
2	A	7	Trabajador1	11.947
3	A	11	Trabajador1	11.942
4	A	15	Trabajador1	11.947
5	A	19	Trabajador1	11.958
6	A	23	Trabajador1	12.012
7	A	27	Trabajador1	12.021
8	A	31	Trabajador1	11.963
9	A	35	Trabajador1	11.967
10	A	39	Trabajador1	11.966
11	B	43	Trabajador1	11.989
12	B	47	Trabajador1	12.001
13	B	51	Trabajador1	11.949
14	B	55	Trabajador1	11.969
15	B	59	Trabajador1	11.998
16	B	63	Trabajador1	11.899
17	B	67	Trabajador1	11.898
18	B	71	Trabajador1	11.996
19	B	75	Trabajador1	11.937
20	B	79	Trabajador1	11.897
21	C	83	Trabajador1	11.985
22	C	87	Trabajador1	11.955
23	C	91	Trabajador1	11.956
24	C	95	Trabajador1	11.946
25	C	99	Trabajador1	12.021
26	C	103	Trabajador1	12.005
27	C	107	Trabajador1	12.022
28	C	111	Trabajador1	12.054
29	C	115	Trabajador1	12.053
30	C	119	Trabajador1	12.05

Fuente: Indulactea 2023. Elaboración Propia

Cuadro 57 Data de %ST trabajador 2.

Elemento	Sub Grupo	N. de Muestra	Encargado	% Solidos
31	A	4	Trabajador2	11.989
32	A	8	Trabajador2	11.947
33	A	12	Trabajador2	11.944
34	A	16	Trabajador2	12.029
35	A	20	Trabajador2	11.963
36	A	24	Trabajador2	11.93
37	A	28	Trabajador2	11.936
38	A	32	Trabajador2	11.942
39	A	36	Trabajador2	11.934
40	A	40	Trabajador2	12.012
41	B	44	Trabajador2	11.937
42	B	48	Trabajador2	11.907
43	B	52	Trabajador2	11.932
44	B	56	Trabajador2	11.919
45	B	60	Trabajador2	11.902
46	B	64	Trabajador2	11.918
47	B	68	Trabajador2	11.858
48	B	72	Trabajador2	11.905
49	B	76	Trabajador2	12.021
50	B	80	Trabajador2	11.939
51	C	84	Trabajador2	11.997
52	C	88	Trabajador2	11.999
53	C	92	Trabajador2	11.923
54	C	96	Trabajador2	11.909
55	C	100	Trabajador2	11.948
56	C	104	Trabajador2	11.922
57	C	108	Trabajador2	11.926
58	C	112	Trabajador2	11.965
59	C	116	Trabajador2	11.927
60	C	120	Trabajador2	11.864

Fuente: Indulactea 2023. Elaboración Propia

Cuadro 58 Data de %ST trabajador 3.

Elemento	Sub Grupo	N. de Muestra	Encargado	% Solidos
61	A	5	Trabajador3	11.994
62	A	9	Trabajador3	11.998
63	A	13	Trabajador3	11.993
64	A	17	Trabajador3	12.011
65	A	21	Trabajador3	11.939
66	A	25	Trabajador3	11.987
67	A	29	Trabajador3	11.986
68	A	33	Trabajador3	11.929
69	A	37	Trabajador3	11.929
70	A	41	Trabajador3	11.948
71	B	45	Trabajador3	11.922
72	B	49	Trabajador3	11.926
73	B	53	Trabajador3	11.965
74	B	57	Trabajador3	11.927
75	B	61	Trabajador3	11.894
76	B	65	Trabajador3	11.951
77	B	69	Trabajador3	11.931
78	B	73	Trabajador3	11.917
79	B	77	Trabajador3	11.921
80	B	81	Trabajador3	11.935
81	C	85	Trabajador3	11.906
82	C	89	Trabajador3	11.914
83	C	93	Trabajador3	11.96
84	C	97	Trabajador3	11.935
85	C	101	Trabajador3	11.923
86	C	105	Trabajador3	11.919
87	C	109	Trabajador3	11.944
88	C	113	Trabajador3	11.907
89	C	117	Trabajador3	11.953
90	C	121	Trabajador3	11.888

Fuente: Indulactea 2023. Elaboración Propia

Cuadro 59 Data de %ST trabajador 4.

Elemento	Sub Grupo	N. de Muestra	Encargado	% Solidos
91	A	6	Trabajador4	12.021
92	A	10	Trabajador4	12.072
93	A	14	Trabajador4	12.109
94	A	18	Trabajador4	12.027
95	A	22	Trabajador4	12.067
96	A	26	Trabajador4	12.081
97	A	30	Trabajador4	12.03
98	A	34	Trabajador4	11.979
99	A	38	Trabajador4	11.94
100	A	42	Trabajador4	11.986
101	B	46	Trabajador4	12.006
102	B	50	Trabajador4	11.985
103	B	54	Trabajador4	11.955
104	B	58	Trabajador4	11.916
105	B	62	Trabajador4	11.945
106	B	66	Trabajador4	12.071
107	B	70	Trabajador4	12.005
108	B	74	Trabajador4	12.062
109	B	78	Trabajador4	12.054
110	B	82	Trabajador4	12.053
111	C	86	Trabajador4	12.05
112	C	90	Trabajador4	12.002
113	C	94	Trabajador4	12.025
114	C	98	Trabajador4	12.026
115	C	102	Trabajador4	12.148
116	C	106	Trabajador4	12.012
117	C	110	Trabajador4	12.039
118	C	114	Trabajador4	11.912
119	C	118	Trabajador4	12.012
120	C	122	Trabajador4	12.008

Fuente: Indulactea 2023. Elaboración Propia

Resultados del análisis de repetitividad y reproducibilidad (R&R) del sistema de medición

En el Cuadro 60 se muestra el resultado del software Minitab, la tabla ANOVA de dos factores incluye términos para el encargado (trabajador), el subgrupo (muestras A, B, C) y la interacción de estas dos. Si el valor de p de la interacción fuera mayor a 0.05 Minitab omitiría la interacción del modelo completo porque no sería significativa.

Cuadro 60 R&R del sistema de medición.

R&R del sistema de medición (anidado) para % Solidos					
Fuente	GL	SC	MC	F	P
Encargado	3	0.123801	0.0412671	8.48610	0.007
Sub Grupo (Encargado)	8	0.038903	0.0048629	2.91162	0.006
Repetibilidad	108	0.180379	0.0016702		
Total	119	0.343084			

Fuente: Indulactea 2023. Elaboración propia.

En el Cuadro 61 comparando los componentes de la varianza (CompVar) para ver la variación de cada fuente de error de medición con la variación total, se tiene: que la variación entre las partes es de 9.97%, este valor es mucho menor que el R&R total del sistema de medición, que es de 90.03%. Por lo tanto, gran parte de la variación no se debe a la diferencia entre las partes.

Cuadro 61 Componentes de Varianza

Componentes de la varianza		
Fuente	CompVar	%Contribución (de CompVar)
Gage R&R total	0.0028836	90.03
Repetibilidad	0.0016702	52.15
Reproducibilidad	0.0012135	37.89
Parte a parte	0.0003193	9.97
Variación total	0.0032029	100.00

La tolerancia del proceso es = 0.265

Fuente: Indulactea 2023. Elaboración propia.

En el Cuadro 63 utilizando el % Var del estudio para comparar la variación del sistema de medición con la variación total. El R&R total del sistema de medición equivale a 94.89% de la variación del estudio, siendo el resultado de medición no aceptable y debiendo ser mejorado, de acuerdo a parámetros del Cuadro 62

Cuadro 62 Rango de Aceptabilidad

Porcentaje de variación del proceso	Aceptabilidad
Menos de 10%	El sistema de medición es aceptable.
Entre 10% y 30%	El sistema de medición es aceptable dependiendo de la aplicación, el costo del dispositivo de medición, el costo de la reparación u otros factores.
Más de 30%	El sistema de medición no es aceptable y debe ser mejorado.

Fuente: Minitab.

<https://support.minitab.com/es-mx/minitab/20/help-and-how-to/quality-and-process-improvement/measurement-system-analysis/supporting-topics/gage-r-r-analyses/is-my-measurement-system-acceptable/>

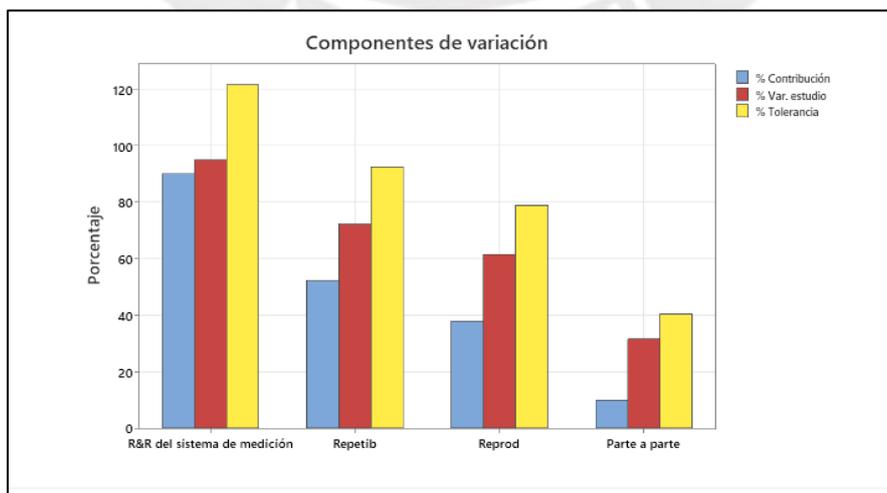
Cuadro 63 Evaluación del sistema de medición

Fuente	Desv.Est. (DE)	Var. estudio (6 × DE)	%Var. estudio (%VE)	%Tolerancia (VE/Toler)
Gage R&R total	0.0536996	0.322198	94.89	121.58
Repetibilidad	0.0408678	0.245207	72.21	92.53
Reproducibilidad	0.0348350	0.209010	61.55	78.87
Parte a parte	0.0178682	0.107209	31.57	40.46
Variación total	0.0565944	0.339566	100.00	128.14

Fuente: Indulactea 2023. Elaboración propia.

En el Gráfico 20 Componentes de variación, el porcentaje de contribución entre las partes es menor que el del R&R total del sistema de medición. Por lo tanto, la gran parte de la variación no se debe a las diferencias entre las partes.

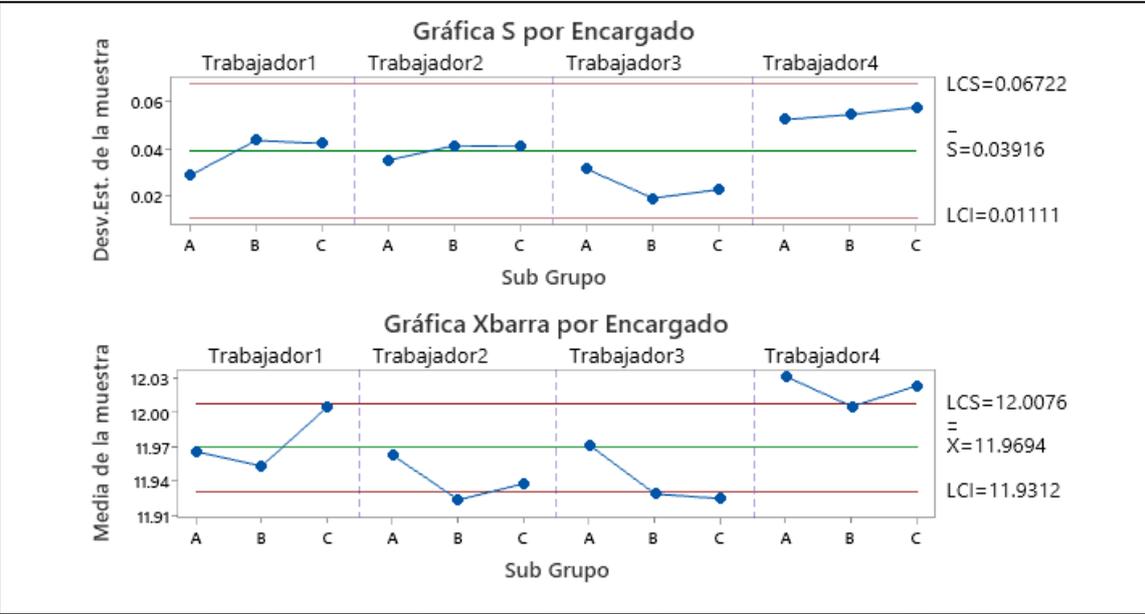
Gráfico 20 Componentes de Variación



Fuente: Indulactea 2023. Elaboración propia. Minitab.

En la gráfica S por encargado, muestra que el trabajador 1 y trabajador 4 son los que miden las muestras de manera menos consistente, respecto a los otros dos trabajadores; sin embargo, todos los datos están bajo control. En la gráfica X Barra por operador, la mayoría de los datos se encuentran por encima del valor mínimo de 11.85%. Gráfico 21

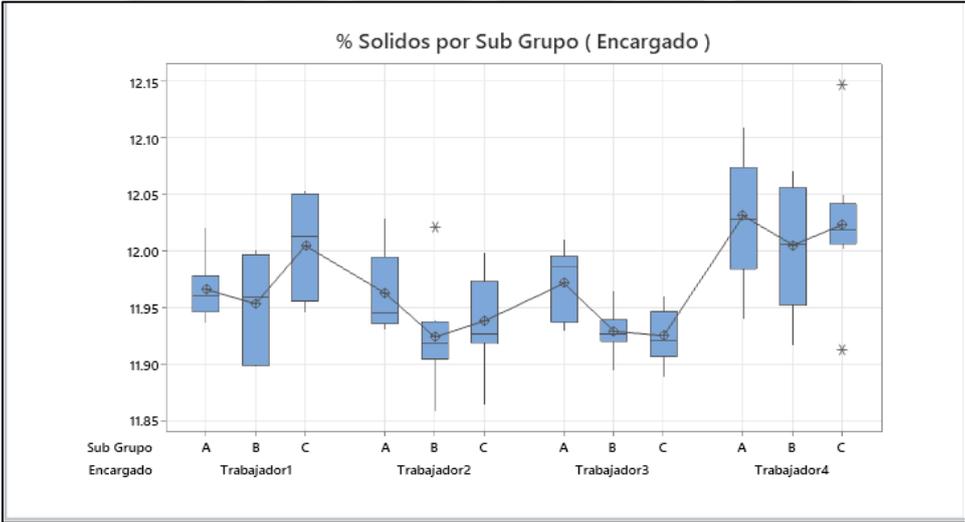
Gráfico 21 Gráfica S



Fuente: Indulactea 2023. Elaboración propia. Minitab

En la Gráfica 22 de % Solidos totales por subgrupo y por encargado, los valores por encima de la especificación mínima muestran que no se realiza una correcta estandarización del producto a envasar, generando una mayor cantidad de merma, por falta de una adecuada estandarización. Gráfico 21

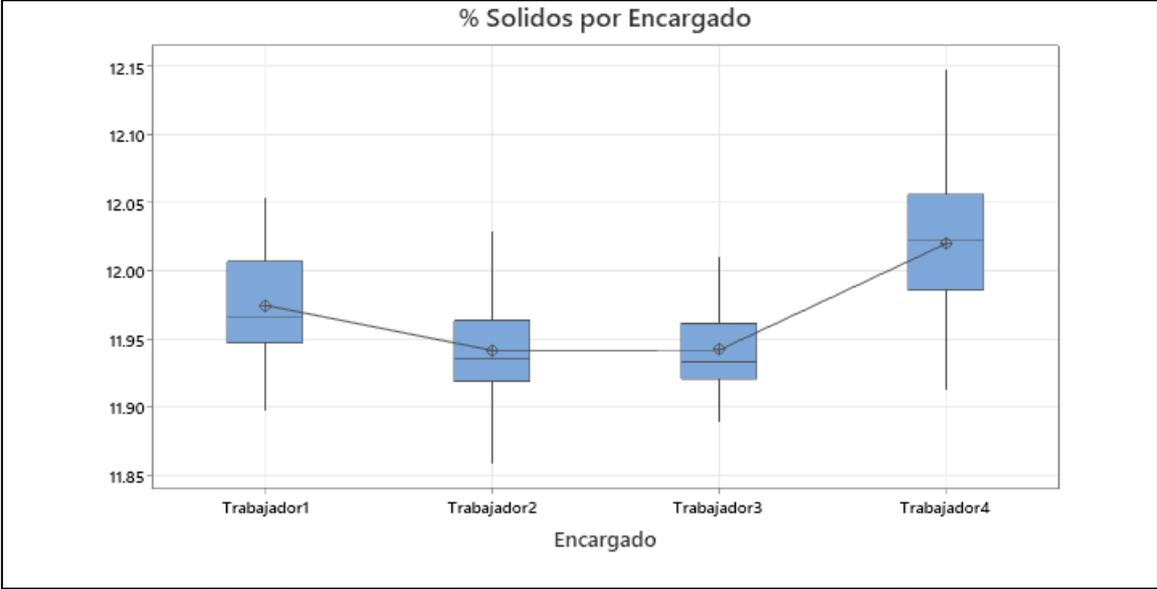
Gráfico 22 % Solidos sub grupo



Fuente: Indulactea 2023. Elaboración propia. Minitab

En la gráfica 23 de % Sólidos totales por encargado, los valores muestran que los trabajadores dos y tres tienen mejor aproximación en sus datos, siendo el trabajador cuatro el que tiene mayor alejamiento y menor precisión seguido del trabajador tres. Gráfico 23

Gráfico 23 % sólidos encargado.



Fuente: Indulactea 2023. Elaboración propia. Minitab



CAPITULO 4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

4.1 Conclusiones

El modelo de programación lineal entera desarrollado permitirá elaborar un programa más eficiente de producción anual para la planta, el margen obtenido con el modelo es 8.3% mayor que el obtenido de la simulación sin el modelo. Esto equivale a un ahorro mensual en soles de 3,780 miles de soles.

El modelo nos permite simular escenarios, para el periodo de tiempo designado, pudiendo ser a largo plazo: anual (escenario para doce meses de producción), corto plazo: semestral (escenario para seis meses de producción) y en corto plazo: mensual (escenario para cuatro semanas de producción), dependiendo de la alimentación de la data a ser cargada en el modelo para la simulación.

Se considera que los valores máximos de las restricciones se mantienen constantes para todos los periodos, lo cual corresponde a capacidades de proceso fijas como pasteurizado o capacidades de almacenamiento de producto terminado; sin embargo, para las restricciones de formulación se debe tomar en cuenta que la disponibilidad de leche fresca y descremada se encuentra en función de estacionalidad, fenómenos ambientales (cierre de carreteras) y conflictos sociales que se pueden presentar (huelgas, paros y marchas, que pueden impedir que la leche sea transportada a su destino). Para lo cual en el modelo los valores de estos máximos pueden asignarse con distintos valores por periodo para tener una mayor exactitud de los resultados.

En el modelo se evidencia que para el área de elaboración tanto de productos refrigerados y no refrigerados, no se tiene holgura de horas hombre disponibles, por lo cual no tendremos excedentes de personal en los doce meses considerados. Por lo cual se requiere tener un personal rotativo para cubrir las vacaciones en dichos periodos.

A la vez, se puede ver que para el área de envasado tanto de productos refrigerados y no refrigerados, se tiene holgura en los periodos 4, 5 y 11 para refrigerados y en los periodos 4,6 y 11 para no refrigerados, con este excedente de horas, podemos cubrir los periodos vacacionales y tener menos personal rotativo para cubrir vacaciones.

Para la restricción del proceso de pasteurización se puede observar en el modelo que existen periodos con holgura cero, con lo cual tendríamos a este proceso como cuello de botella, ya que la capacidad considerada es la máxima tanto para refrigerados y no refrigerados. De tener

una mayor necesidad de producción requeriría ampliación de capacidad mediante inversión en activos: mayor cantidad de pasteurizadores.

Finalmente, para la restricción de capacidad de almacenamiento disponible, tanto para la sección refrigerados y no refrigerados, se tiene de 1 a 2 periodos con cero holguras los cuales pueden ser afrontados con temporadas de promoción para mover más rápidamente los *stocks* de planta.

Con la implementación de pilotos de TPM y 5S tendremos una mejor confiabilidad de los equipos, con lo cual mejoraremos los indicadores de OEE, asignando mayor responsabilidad al personal de planta para la gestión de sus equipos y zonas de trabajo.

Para la obtención de mejores resultados en la variación de la merma de %ST de la planta de acuerdo a los resultados del análisis de repetitividad y reproducibilidad (R&R) del sistema de medición utilizado por el laboratorio de planta se evidencia que hay variación significativa en los resultados de los trabajadores, se debe de realizar la capacitación correspondiente para mejorar estos resultados. A la vez se debe ver en la programación minimizar los cambios de tipo de productos en un mismo periodo para disminuir los pases de agua y empujar con el mismo producto.

4.2 Recomendaciones

Para la ejecución, se debe revisar los datos que el modelo utiliza, para asegurar que los resultados sean lo más precisos a la realidad del escenario considerado para la planta.

De acuerdo a lo anterior, considerando las necesidades por periodos, las restricciones deben ser ajustadas, es conveniente ir ampliando el modelo (adicionando restricciones) para cada vez tener una mejor aproximación a la realidad que se presente en la planta.

Las restricciones cargadas en el modelo deben ser las de recursos cuellos de botella, una vez superada o mejorada el recurso cuello de botella, se debe pasar a establecer una nueva restricción en el modelo considerando la siguiente que surja.

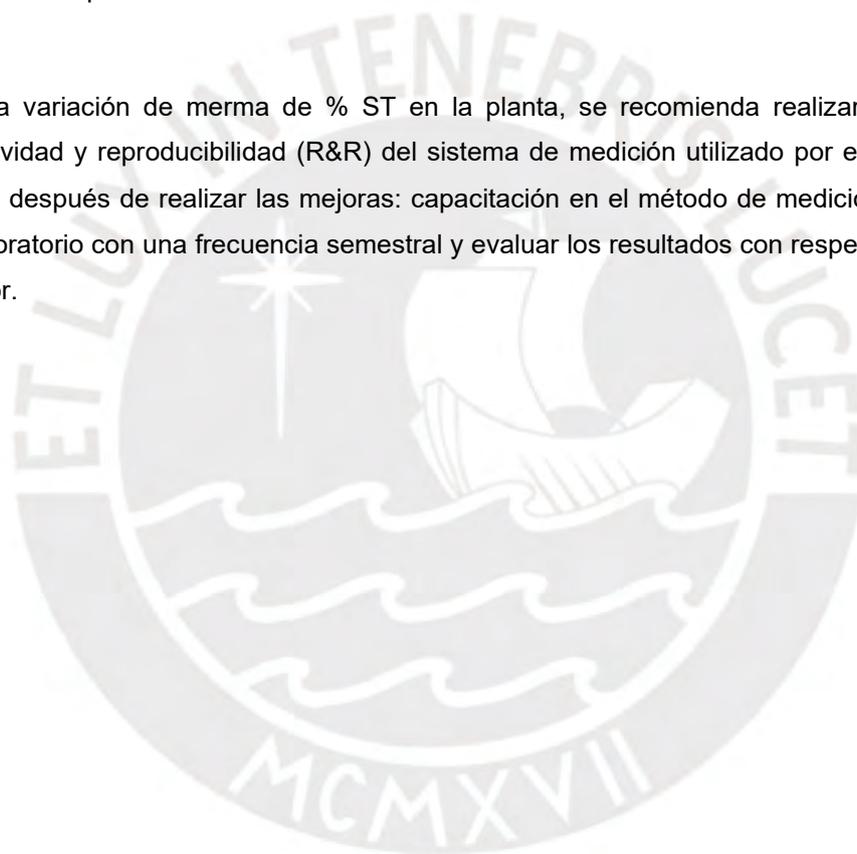
Si bien es cierto el modelo nos da el óptimo para la combinación de nuestras variables, se tendrá mejores resultados para las eficiencias al considerar en la programación:

1. Minimizar los cambios de formato por periodo.
2. Minimizar los cambios de producto por periodo.
3. Minimizar los lavados de equipos por periodo.

Utilizar la capacidad máxima de los tanques de elaboración, incubación, tanques estériles, etc. Para esto podemos agregar variables al modelo que consideren: los cambios de formatos, cambios de productos, lavados, etc.

Una vez implementados los pilotos de TPM y 5 S de la línea estéril, se debe realizar la implementación en las otras áreas, para garantizar de este modo la confiabilidad de todos los equipos de la planta.

Para la variación de merma de % ST en la planta, se recomienda realizar el análisis de repetitividad y reproducibilidad (R&R) del sistema de medición utilizado por el laboratorio de planta, después de realizar las mejoras: capacitación en el método de medición del personal de laboratorio con una frecuencia semestral y evaluar los resultados con respecto al semestre anterior.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

PACORICUNA CABRERA, Eddy Santiago.

2013 Propuesta del programa de producción de la línea de productos líquidos no estériles. Tesis de Licenciatura de Ciencias e Ingeniería con mención en Ingeniería Industrial. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú. Facultad de Ciencias e Ingeniería.

ROCA SILVA, Enrique Abel.

2019 Programación de la producción en una Empresa siderúrgica usando programación lineal entera mixta. Tesis de Licenciatura de Ciencias e Ingeniería con mención en Ingeniería Industrial. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú. Facultad de Ciencias e Ingeniería.

JULCA LAFORA, Georgina Milagros; MALCA QUISPE, Ana Karina; SARAVIA CANDIOTTI, Janiss Mercedes.

2016 Modelo de programación lineal entera para mejorar la productividad del proceso de obtención y procesamiento de la goma de TAYA de industria Nativa S.A.C. Trabajo de suficiencia profesional para optar al Título de Licenciado en Administración. Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Facultad de Negocios. Área Académica de Administración.

FAO.

2023 Portal Lácteo. Leche y productos lácteos.
Consulta: 16 de mayo del 2023
<https://www.fao.org/dairy-production-products/products/es/>

Indecopi.

2021 Informe de lanzamiento del estudio de mercado sobre el sector lácteo en el Perú.
Consulta: 16 de mayo del 2023
<https://www.indecopi.gob.pe/documents/51771/6194832/Informe+Lanzamiento+Leche/4e4de918-4f25-ad5f-e014-80e13be3b682>

Agencia Agraria de Noticias.

2021 Del total de la producción nacional de leche, el 43% se destina para la elaboración de derivados lácteos, principalmente quesos.
Consulta: 16 de mayo del 2023
<https://agraria.pe/noticias/del-total-de-la-produccion-nacional-de-leche-el-43-se-destin-24157>