

**Universidad de Costa Rica
Sede Interuniversitaria de Alajuela
Carrera de Ingeniería Industrial**

Proyecto de Graduación

**Diseño de un sistema integrado de planificación y control de la
producción, capacidad, inventarios y medición del desempeño
en la empresa INFRA GI de Costa Rica**

**Daniel Ávila González
Luzannia Sánchez Cruz
Ana Gabriela Yujansson Sibaja**

Para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Industrial

Marzo, 2023

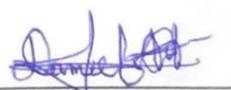
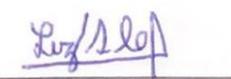
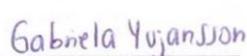
Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Industrial

Diseño de un sistema integrado de planificación y control de la producción, capacidad, inventarios y medición del desempeño en la empresa INFRA GI de Costa Rica

Tribunal Examinador

Nombre	Firma	Fecha
Dra. María José Chassoul Acosta <i>Representante de la Dirección</i>		<u>03-04-2023</u>
Dr. Hanzel Grillo Espinoza <i>Director del Comité Asesor</i>		<u>27-3-23</u>
Ing. Alexander Jenkins Hernández <i>Asesor Técnico</i>		<u>28-03-23</u>
Máster Minor Enrique Calvo Fernández <i>Profesional Contraparte</i>		<u>30-3-23</u>
M.B.A. Daniel Moreno Conejo <i>Profesor (a) Lector</i>		<u>29-03-2023</u>

Sustentantes

Daniel Ávila González		<u>29-03-2023</u>
Luzannia Sánchez Cruz		<u>27/03/2023</u>
Ana Gabriela Yujansson Sibaja		<u>30/03/2023</u>

Agradecimientos y dedicatoria

Doy gracias a mis padres, Ada y Alfredo, por ser mi base, apoyo y motivación para ser un profesional, a mi hermana Victoria y a mi hermano Alfredo por su comprensión y compañía durante este proceso.

A Luz y a Gaby, por el esfuerzo y el apoyo, serán excelentes profesionales.

A mis amigos, familiares y compañeros que me acompañaron, que me hicieron disfrutar cada momento y hacer que valiera la pena el camino para llegar a ser un profesional. Y a Dios.

Daniel Ávila González

Le doy inmensas gracias a Dios, por bendecirme, guiarme y permitirme llegar hasta acá.

A mis padres Eliver y Zelmira que siempre han estado a mi lado apoyándome y guiándome por el camino del bien, siempre presentes en las decisiones más importantes de mi vida.

A mis hermanos y hermanas que de una u otra manera me han ayudado y apoyado en estos años de estudio.

A mis amistades más cercanas que siempre me desearon el bien y me apoyaban en lo que más necesitaba.

A Gabriela y Daniel, excelentes personas que no voy a olvidar y que les deseo lo mejor en sus vidas, espero que cumplan todos sus metas y que lleguen a ser excelentes ingenieros.

A los profesores Hanzel y Alexander, nuestros guías en esta etapa y con los que estoy inmensamente agradecida por su dedicación.

Luzannia Sánchez Cruz

Gracias a Dios, a mis padres, Carlos y Lorena, y a mi hermano, Stefan, por acompañarme durante este proceso y ser mi apoyo.

A mis abuelitos, Ana María y Eduardo, que me han dado todo su cariño y su apoyo.

Al profesor Hanzel Grillo y el profesor Alexander Jenkins, que con su conocimiento y paciencia nos han guiado durante este proyecto.

A Luzannia y Daniel, dos grandes amigos que llevo en mi corazón.

A toda mi familia y amigos que me han acompañado y apoyado en este proceso.

Gabriela Yujansson Sibaja

Gracias a la empresa INFRA GI de Costa Rica, en especial a Laura y a don Minor, por la posibilidad de realizar el proyecto en la organización y estar anuentes a brindarnos la información y apoyo necesario.

Resumen Gerencial

El presente documento muestra un proyecto realizado en la empresa INFRA GI de Costa Rica, el cual está dirigido al diagnóstico de un problema, el análisis y la determinación de métodos apropiados para la atención y solución. INFRA GI de Costa Rica se creó en el año 2007, es una organización privada internacional, dedicada al envasado y distribución de gases médicos, industriales y mezclas. Se encuentra en el Parque Industrial ZETA en Alajuela, cuenta con 42 colaboradores y seis líneas de envasado.

Inicialmente, se realiza una evaluación preliminar del sistema de planificación actual, y se encuentra que los procesos correspondientes a: Estimación de la demanda, planificación de la producción, capacidad e inventarios, requerimiento de materiales, programación y, seguimiento y control del desempeño, mantienen brechas de cumplimiento de buenas prácticas de hasta 46,0%, entendiendo buenas prácticas como lineamientos dictados por autores reconocidos en la temática. Además, se determina que el error de pronóstico es de 16,8%, sin embargo, a pesar de encontrarse dentro del rango permisible según la meta, no se considera para la toma de decisiones.

El método de planificación consiste en mantener los cepos de cilindros llenos; es decir, no existe una planeación de la producción diaria. Debido a dicha carencia, los desperdicios alcanzan costos mensuales de ₡13 153 796 y el uso de capacidad adicional representa al mes ₡921 185. Se encuentra que la falta de cilindros vacíos para atender la producción provoca atrasos, tiempos muertos y encender la bomba hasta dos veces al día, provocando el desgaste de los equipos. Además, no se cuenta con indicadores que le permita medir el desempeño.

En la etapa de diagnóstico, inicialmente, se realiza un análisis de brechas con respecto a buenas prácticas y un análisis de valor agregado a cada uno de los procesos con los que cuenta la empresa. Se determina que, se mantienen brechas de cumplimiento en promedio de 20,6%, lo cual es considerado un nivel crítico, adicionalmente, el análisis de valor agregado indica que, se tienen en promedio 59,3% de tareas que agregan valor, 25,4% de no valor agregado evitable y 15,3% de no valor agregado inevitable.

Seguido, se evalúan los métodos de trabajo de los procesos de envasado de cada gas y se encuentra que se mantienen documentados, sin embargo, no se ejecutan. Se procede a evaluar el método documentado y el ejecutado mediante la comparación contra el estándar obtenido desde la casa matriz. Se determina que el documentado mantiene un cumplimiento del 88,0% y el ejecutado un 91,0%, por lo que, se concluye que es necesaria la estandarización procedimental.

Se analiza el error de pronóstico, para ello se utiliza la métrica MAPE, además, con el fin de determinar si el error se encuentra en un rango aceptable se considera la meta de la organización, correspondiente a un $\pm 5,0\%$ sobre las ventas totales. Como resultado, se obtiene que el error de la empresa sobre las ventas totales alcanza un 7,8%, al generar estimaciones de la demanda que se ajusten a los componentes sistemáticos se disminuye a un error de 3,2%. Con lo cual, se deja en evidencia que el método empírico utilizado no es adecuado.

Se plantea elaborar un estudio de tiempos, sin embargo, durante los muestreos preliminares se determina que el proceso no se ejecuta de acuerdo con el método establecido, por lo que, no es posible llevar a cabo el estudio. Se procede a realizar un

muestreo de tiempos guía, que permitiesen analizar los efectos de las variaciones que existen entre el método y la ejecución, de lo cual, se establece de manera preliminar que los tiempos de ciclo reales difieren de los tiempos con los que planifica la organización. Además, la tasa de producción aumenta en un 9,2% para Ar y disminuye 13,4% para N₂ y 2,6% para O₂, con lo que se determina la necesidad del cálculo de tiempos estándar estadísticamente representativos.

Se analiza si la capacidad instalada es suficiente para cubrir los requerimientos de producción, y se encuentra que la capacidad con la cual planifica la organización actualmente difiere de la real hasta en un 13,4%, lo que genera que se tengan roturas de inventario en al menos un gas y capacidad ociosa en los restantes. Con una reestructuración de los tiempos destinados a la producción de cada gas, se disminuyen las roturas en un 85,7%. Además, debido a que la capacidad instalada se ve impactada por la cantidad de cilindros vacíos disponibles, se procede a analizar la política de inventarios, y se determina que, existen faltantes en tres de los cuatro productos bajo estudio, donde el mayormente impactado corresponde a N₂ con un 71,4%.

Se evalúan los niveles de desempeño de los métodos de trabajo mediante la medición de los indicadores de productividad, utilización y eficiencia. Se obtiene como resultado que, al redistribuir la demanda de manera nivelada, aumenta la productividad promedio en 7,0% y la eficiencia en 0,3%, y se reduce la utilización hasta en un 13,6% por centro de trabajo, con lo cual se logra la estabilización de la desviación estándar de los datos.

Seguido, se procede al diseño de los métodos para los procesos que conforman el sistema integrado. Para ello, se definen las actividades de los procesos, se elabora un diagrama SIPOC con el fin de evidenciar la relación de entradas y salidas, además, se realizan cursogramas analíticos a nivel de tareas y fichas de procedimiento para cada proceso. Con los procesos rediseñados, se logra la reducción en la totalidad de las brechas de cumplimiento de buenas prácticas cuantificadas en la etapa de diagnóstico, y se alcanza la reducción total del porcentaje de no valor agregado.

Se ejecuta un estudio de tiempos a los procesos productivos, y se encuentra que el proceso de llenado de O₂ alcanza 30,6 min, N₂ 125,2 min, el CO₂ 2,2 min y el Ar 167,0 min. Una vez diseñados los procesos, se procede a la elaboración de una herramienta de soporte denominada "INFRA Tool", para ello se ejecuta una ingeniería de requerimientos. Dicha herramienta, permite la ejecución de los procesos de manera semiautomática, lo que representa un apoyo para la ejecución del sistema integrado. Seguido, se diseña el proceso de medición y control del desempeño, para lo cual se incluyen las métricas de horas extra, productividad, número de quejas mensuales, desperdicio de materia prima, utilización, eficiencia y eficacia.

Con el diseño realizado, se obtiene una reducción del error de pronóstico de un 4,8%, lo cual se traduce en que la empresa puede mejorar la planificación de la producción, ya que se tiene control sobre 12 187 m³, lo que representa 40 horas de trabajo que pueden ser planificadas. Además, mediante la evaluación inicial del rendimiento de los procesos diseñados, se reducen en la totalidad las semanas con rotura de demanda. Para el proceso de planificación de la capacidad operativa, se elabora un modelo de programación lineal que permite conocer la cantidad óptima de bancos a producir, y se reducen las semanas con roturas por faltante de cilindros vacíos de 71,4% para N₂, 28,6% para Ar y 42,9% para O₂.

Con el estudio de tiempos, se encuentra que la organización es capaz de planificar el recurso disponible y eliminar la diferencia de la capacidad planificada de la real, con esto, se obtienen en promedio 6,2 horas semanales de tiempo efectivo disponible que podrían ser utilizadas para atender las fluctuaciones en la demanda y disminuir las roturas de inventario. En cuanto a la medición del desempeño, al evaluar el sistema diseñado para un periodo de 12 semanas, se obtiene una productividad de 131,0 m³/h \pm 2,5 m³/h y una utilización de 53,0% para O₂, 23,0% para CO₂ y 47,0% para N₂ y Ar.

En la etapa de validación, se evalúa la efectividad del sistema integrado propuesto mediante corridas de prueba y el análisis de sensibilidad de los procesos, con la finalidad de validar el potencial de impacto de la contramedida. Con la ejecución del proceso de estimación de la demanda para el año 2022, se obtiene 11,1% de error de pronóstico, lo que representa una disminución de 15,7% correspondiente a ₡187 476 705.

Una vez obtenidos los pronósticos, se elabora un plan de producción nivelado cada 4 semanas para 45 semanas de 2022 y se compara el MPS contra la demanda real. Se obtiene 11,0% de semanas con rotura, cuyo faltante representa un promedio de 4,0% de la demanda total, además, los sobrantes de inventario corresponden en promedio al 42,0% del espacio de la bodega, con lo cual se puede afirmar que, el MPS elaborado no genera excesos de inventario, sino que se mantiene en el nivel de inventario de seguridad en m³ definido, el cual corresponde a 35,0% del espacio de la bodega. Por otro lado, las roturas generadas con la producción real de la organización representan un 42,0% del total, lo que corresponde a un 10,0% de la demanda real.

Se determina que, el sistema integrado de planificación diseñado es sensible a la falta de cilindros disponibles, por lo tanto, se recomienda mejorar la gestión de los recursos y considerar la inversión en un lote de al menos 59 cilindros para cubrir dichos faltantes. Con la variación del porcentaje de distribución de participación por tipo de producto utilizado, se encuentra que la periodicidad semanal es la que presenta mejores resultados. Evidenciando así, que la actualización de dicho porcentaje debe ejecutarse en este periodo de tiempo, sin embargo, para mayor exactitud es necesario completar las lecturas para el año 2022 y así utilizar los datos de ventas más reciente.

Para la validación del sistema integrado, se evalúan las métricas definidas y se obtiene una utilización con capacidad ociosa desde un 77,0% hasta un 43,0%. Por otra parte, al medir la productividad se obtiene un aumento en los metros cúbicos envasados por hora persona hasta de 31,0%. Además, la eficiencia llega a un valor de 40,4%. Con los resultados obtenidos, se concluye que la planificación propuesta es ejecutable y se mejora el rendimiento del sistema productivo al utilizar los procesos diseñados.

Finalmente, se obtiene como resultado un sistema integrado que permite la planificación de hasta 49 594 m³, que actualmente no son planificados, además, la planeación adecuada de la producción posibilita la reducción de hasta 76,8 horas extra quincenales, lo cual representa aproximadamente 1 996 horas anuales. Adicionalmente, se reducen la cantidad de roturas de 42,0% a 11,0% y el impacto sobre la demanda disminuye en 6,0%, representando así alrededor de 12 849 m³. Con los resultados anteriores se infiere que, la empresa podría percibir un ahorro anual aproximado de ₡4 191 600 en horas extra, y ₡119 080 500 por la potencial pérdida de ventas debido a las roturas.

Índice

Introducción.....	14
Capítulo 1. Propuesta de proyecto	15
1.1. Justificación del proyecto	15
1.1.1. Descripción de la organización	15
1.1.2. Justificación del problema.....	15
1.1.3. Definición del problema.....	18
1.1.4. Alcance del proyecto.....	18
1.1.5. Beneficios asociados al proyecto.....	18
1.2. Objetivo general e indicadores de éxito.....	19
1.2.1. Objetivo general	19
1.2.2. Indicadores de éxito	19
1.3. Marco de referencia teórico.....	20
1.3.1. Pronósticos de la demanda	22
1.3.2. Planificación de los requerimientos de capacidad (CRP)	22
1.3.3. Planeación agregada	24
1.3.4. Plan maestro de producción (MPS).....	24
1.3.5. Planeación de requerimiento de materiales (MRP).....	25
1.3.6. Programación de la producción	25
1.3.7. Planificación del inventario.....	26
1.3.8. Seguimiento y control del desempeño.....	27
1.3.9. Toma de decisiones	28
1.4. Metodología general.....	29
1.5. Cronograma de trabajo.....	32
Capítulo 2. Diagnóstico	33
2.1. Objetivo general.....	33
2.2. Objetivos específicos.....	33
2.3. Metodología de trabajo.....	33
2.4. Identificación de los procesos y productos bajo análisis	35
2.5. Análisis de brechas entre método teórico y actual	36
2.5.1. Estimación de la demanda.....	36
2.5.2. Planificación de la capacidad.....	38
2.5.3. Planificación de la producción	48
2.5.4. Requerimiento de materiales	49
2.5.5. Programación de la producción	51
2.5.6. Seguimiento y control del desempeño.....	52
2.5.7. Planificación de los inventarios.....	53
2.6. Origen de los desperdicios asociados al método de trabajo	55
2.6.1. Estimación de la demanda.....	55
2.6.2. Planificación de la capacidad.....	56
2.6.3. Procesos productivos.....	57
2.6.4. Planificación de la producción	58
2.6.6. Programación de la producción	60
2.6.7. Seguimiento y control del desempeño.....	61
2.6.8. Planificación de los inventarios.....	61
2.7. Análisis del error de pronóstico	62
2.7.1. Análisis de los componentes sistemáticos de la demanda.....	62
2.7.2. Error de pronóstico.....	63

2.8.	Medición de la desviación de los tiempos de ejecución.....	65
2.8.1.	Tiempos de ejecución del proceso productivo	66
2.8.2.	Impacto en la capacidad real instalada	68
2.9.	Volumen de producción y desperdicios de materia prima	69
2.9.1.	Análisis del servicio de demanda	69
2.9.2.	Análisis del volumen de producción actual	70
2.9.3.	Desperdicios de materia prima.....	74
2.10.	Análisis de inventarios.....	74
2.11.	Evaluación de indicadores actuales.....	75
2.11.1.	Nivel de servicio	75
2.11.2.	Número de quejas de los clientes.....	76
2.11.3.	Desperdicios de materia prima	77
2.11.4.	Otros indicadores	78
2.12.	Medición de indicadores recomendados	79
2.12.1.	Productividad.....	79
2.12.2.	Utilización de la capacidad instalada.....	80
2.12.3.	Eficiencia	80
2.13.	Conclusiones del diagnóstico.....	81
Capítulo 3.	Diseño	84
3.1.	Objetivo general	84
3.2.	Objetivos específicos	84
3.3.	Metodología de trabajo	84
3.4.	Diseño de los procesos de planificación	85
3.4.1.	Estimación de la demanda	85
3.4.2.	Planificación de la producción	88
3.4.3.	Planificación de la capacidad	90
3.4.4.	Planificación de la capacidad a nivel operativo	93
3.5.	Métodos documentados para los procesos productivos	97
3.5.1.	Método de ejecución propuesto del proceso de envasado de O ₂	97
3.5.2.	Método de ejecución propuesto del proceso de envasado de N ₂	98
3.5.3.	Método de ejecución propuesto del proceso de envasado de Ar.....	99
3.5.4.	Método de ejecución propuesto del proceso de envasado de CO ₂	99
3.6.	Tiempos estándar de los procesos productivos	100
3.6.1.	Tamaños de muestra	100
3.6.2.	Calificación del desempeño del operario	102
3.6.3.	Adición de suplementos u holguras	103
3.6.4.	Tiempos estándar	104
3.7.	Aplicación de soporte.....	106
3.7.1.	Ingeniería de requerimientos.....	106
3.7.2.	Módulos de trabajo	108
3.8.	Proceso de seguimiento y control del desempeño	110
3.8.1.	Método de ejecución para el seguimiento y control del desempeño.....	110
3.8.2.	Medición y control de indicadores	113
3.8.3.	Panel de control	115
3.9.	Conclusiones del diseño	116
Capítulo 4.	Validación.....	118
4.1.	Objetivo general	118
4.2.	Objetivos específicos	118

4.3.	Metodología de trabajo.....	118
4.4.	Ejecución de los procesos diseñados.....	119
4.4.1.	Estimación de la demanda.....	119
4.4.2.	Planificación de la producción.....	120
4.4.3.	Planificación de la capacidad.....	122
4.4.4.	Planificación de la capacidad operativa.....	122
4.5.	Análisis de sensibilidad.....	123
4.5.1.	Demanda.....	123
4.5.2.	Cilindros disponibles.....	124
4.5.3.	Distribución del plan agregado por tipo de producto.....	125
4.6.	Medición del desempeño.....	126
4.6.1.	Utilización.....	127
4.6.2.	Eficiencia.....	128
4.6.3.	Productividad.....	129
4.6.4.	Eficacia.....	130
4.7.	Análisis de los indicadores de éxito del proyecto.....	131
4.7.1.	Productividad.....	131
4.7.2.	Horas extra.....	131
4.7.3.	Nivel de servicio.....	133
4.8.	Conclusiones de la validación.....	133
	Conclusiones.....	135
	Recomendaciones.....	137
	Referencias bibliográficas.....	138
	Abreviaturas y acrónimos.....	140
	Apéndices.....	141
	Anexos.....	216

Índice de tablas

Tabla 1. Metodología general del proyecto	29
Tabla 2. Cronograma de trabajo del proyecto.....	32
Tabla 3. Metodología de trabajo del diagnóstico	33
Tabla 4. Clasificación de SKU por tipo de producto	36
Tabla 5. Análisis de valor agregado métodos documentados y ejecutados	45
Tabla 6. Análisis de brechas métodos documentados y ejecutados.....	46
Tabla 7. Diferencias en los métodos documentados y ejecutados	47
Tabla 8. Componentes sistemáticos de la demanda	62
Tabla 9. Error de pronóstico MAPE.....	63
Tabla 10. Señal de rastreo	63
Tabla 11. Error ponderado monetario sobre ventas totales 2019-2021.....	64
Tabla 12. Porcentaje MAPE sobre ventas totales	64
Tabla 13. Porcentaje MAPE para pronóstico fijo de 2021	65
Tabla 14. Porcentaje MAPE pronóstico móvil de 2021	65
Tabla 15. Tiempos guía O ₂	66
Tabla 16. Tiempos guía N ₂	67
Tabla 17. Tiempos guía CO ₂	68
Tabla 18. Tiempos guía Ar	68
Tabla 19. Comparación de la capacidad actual contra real.....	69
Tabla 20. Tiempo semanal disponible por tipo de producto	71
Tabla 21. Tasa de producción actual contra requerida	72
Tabla 22. Análisis de incidencia para 28 semanas.....	72
Tabla 23. Promedio de producción diaria actual por producto	73
Tabla 24. Análisis de política de inventarios para semana 1	74
Tabla 25. Cuantificación de cilindros faltantes.....	75
Tabla 26. Utilización de la capacidad.....	80
Tabla 27. Eficiencia	80
Tabla 28. Metodología de trabajo del diseño	84
Tabla 29. Notación para el modelo de optimización	94
Tabla 30. Tamaños de muestra.....	101
Tabla 31. Tiempos normales	102
Tabla 32. Holguras por tarea.....	103
Tabla 33. Tiempos estándar O ₂	104
Tabla 34. Tiempos estándar N ₂	105
Tabla 35. Tiempos estándar CO ₂	105
Tabla 36. Tiempos estándar Ar	106
Tabla 37. Tasas de producción	106
Tabla 38. Levantamiento de requisitos funcionales.....	107
Tabla 39. Levantamiento de requisitos no funcionales.....	108
Tabla 40. Modelo Scorecard para el proceso de seguimiento y control	111
Tabla 41. Diagrama SIPOC para proceso de seguimiento y control del desempeño. 112	
Tabla 42. Metodología de trabajo de la validación	118
Tabla 43. Distribución del plan de producción por tipo de gas.....	122
Tabla 44. Distribución del plan de producción por tipo de gas.....	123
Tabla 45. Cantidad de roturas por tipo de producto	126
Tabla 46. Utilización por centro de trabajo.....	127

Tabla 47. Eficiencia por gas.....	128
Tabla 48. Productividad por centro de trabajo.....	129

Índice de figuras

Figura 1. Análisis ABC por ventas	35
Figura 2. Método de ejecución actual del proceso de estimación de la demanda	37
Figura 3. Método de ejecución actual del proceso de planificación de la capacidad.....	38
Figura 4. Método documentado de envasado de O ₂ contra método actual.	39
Figura 5. Método documentado de envasado de N ₂ contra método actual.	42
Figura 6. Método documentado de envasado de Ar contra método actual.....	42
Figura 7. Método documentado de envasado de CO ₂	43
Figura 8. Método actual de envasado de CO ₂	45
Figura 9. Método de ejecución actual del proceso de planificación de la producción...	49
Figura 10. Método de ejecución actual del proceso de requerimiento de materiales ...	50
Figura 11. Método de ejecución actual programación de la producción	51
Figura 12. Método de ejecución actual del proceso de control del desempeño.....	52
Figura 13. Método de ejecución actual de planificación de los inventarios	54
Figura 14. Diagrama de causa – efecto estimación de la demanda.....	55
Figura 15. Diagrama de causa – efecto planificación de la capacidad.....	56
Figura 16. Diagrama de causa – efecto procesos productivos.....	57
Figura 17. Diagrama de causa – efecto planificación de la producción	58
Figura 18. Diagrama de causa – efecto requerimiento de materiales	59
Figura 19. Diagrama de causa – efecto programación de la producción	60
Figura 20. Diagrama de causa – efecto planificación de los inventarios.....	61
Figura 21. Comparación de distribución de tiempo	72
Figura 22. Análisis en los niveles de producción actuales.....	73
Figura 23. Porcentaje de pedidos atendidos del total que ingresado al sistema	76
Figura 24. Porcentaje de error, límites de control y meta para O ₂ , CO ₂ , N ₂ y Ar.....	78
Figura 25. Productividad escenario real vs propuesto basado en el plan agregado.....	79
Figura 26. Eficiencia escenario real vs propuesto basado en el MPS.....	81
Figura 27. SIPOC para proceso de estimación de la demanda.....	86
Figura 28. Método de ejecución propuesto para la estimación de la demanda	88
Figura 29. SIPOC para proceso de estimación de la demanda.....	89
Figura 30. Método de ejecución propuesto planificación de la producción	90
Figura 31. SIPOC para proceso de planificación de la capacidad.....	91
Figura 32. Método de ejecución propuesto planificación de la capacidad	92
Figura 33. SIPOC para proceso de planificación de la capacidad operativa	93
Figura 34. Método propuesto para la planeación de la capacidad operativa	97
Figura 35. SIPOC para los procesos de envasado	97
Figura 36. Método de ejecución propuesto para el proceso de envasado de O ₂	98
Figura 37. Método de ejecución propuesto para el proceso de envasado de N ₂	98
Figura 38. Método de ejecución propuesto para el proceso de envasado de Ar	99
Figura 39. Método de ejecución propuesto para el proceso de envasado de CO ₂	100
Figura 40. Método de ejecución propuesto para el control del desempeño.....	113
Figura 41. Pronóstico de metros cúbicos vs demanda real	120
Figura 42. Plan de producción nivelado	120
Figura 43. Demanda real contra plan de producción	121

Figura 44. Demanda real contra producción real.....	121
Figura 45. Análisis de sensibilidad - Demanda.....	124
Figura 46. Análisis de sensibilidad – Cilindros faltantes.....	125
Figura 47. Porcentaje de representación de cilindros faltantes.....	125
Figura 48. Porcentaje de representación de las roturas sobre la demanda	126
Figura 49. Porcentaje de utilización por centro de trabajo	128
Figura 50. Porcentaje de eficiencia por tipo de gas.....	129
Figura 51. Productividad por tipo de gas	130
Figura 52. Eficacia del MPS propuesto.....	130
Figura 53. Horas extra por quincena.....	132

Introducción

La producción de gases técnicos o industriales toma un papel de importancia para el desarrollo de la industria, la ciencia y la medicina, para alcanzar altos niveles de eficiencia, rentabilidad y calidad, y asegurar o mejorar la seguridad presente en los procesos de fabricación. Los gases bajo estudio en este proyecto abarcan diferentes usos, desde la soldadura con el argón, la adición de dióxido de carbono para bebidas carbonatadas, el uso del oxígeno médico en hospitales y el nitrógeno como refrigerante.

En este sentido, la organización INFRA GI de Costa Rica mantiene un rol de proveeduría de dichos gases, los cuales contribuyen directamente al beneficio de la sociedad en la producción de bienes de consumo, así como en la salud, debido a que el oxígeno es un tratamiento considerado como primordial para las enfermedades descritas en el objetivo de desarrollo sostenible número 3, salud y bienestar. Además, dicho gas se considera como respuesta inmediata ante pandemias, como lo fue la COVID-19.

INFRA GI de Costa Rica, sin embargo, carece de un sistema integrado de planificación que le permita cumplir con las órdenes de producción sin recurrir al uso de recursos adicionales, que se traducen en gastos no contemplados, desperdicios e inapropiado uso de los equipos, lo cual impacta la productividad. Por lo tanto, se establece como eje del proyecto la estructuración de un sistema integrado de planificación, que permita el vínculo de los componentes necesarios para determinar el uso de los recursos.

El desarrollo del documento se compone de cuatro capítulos, cada uno incluye conclusiones. El capítulo uno define la propuesta del proyecto, lo cual consiste en realizar una evaluación preliminar que permita identificar la existencia de falencias que requieran acciones para ser corregidas, por lo tanto, contiene la justificación del problema, el alcance, marco de referencia teórico y la definición del objetivo del proyecto, así como los beneficios identificados para la sociedad y la organización.

El capítulo dos corresponde a la etapa de diagnóstico, para lo cual se inicia con la definición de los procesos a estudiar con el fin de analizar los métodos de trabajo actuales, y así identificar las causas que generan las falencias encontradas en la evaluación preliminar. Para ello, se inicia con el mapeo de los procesos actuales de estimación de la demanda, planificación de la producción, capacidad e inventarios, requerimiento de materiales, programación de las órdenes y el seguimiento y control del desempeño. Seguido, se estudia a detalle cada método de trabajo, con el fin de analizar las causas y oportunidades de mejora que serán objeto de estudio en la etapa de diseño.

Para la fase de diseño, se dedica el capítulo tres. Se desarrolla el sistema integrado que permite la unificación de los flujos físicos y de información, que contrarrestan la problemática identificada. Para lo cual, se inicia con el diseño de los métodos de trabajo para el sistema propuesto de los procesos de planificación y se elabora una herramienta que permite llevar a cabo la ejecución de las tareas de manera semiautomática.

Finalmente, el capítulo cuatro contiene el desarrollo de la etapa de validación, en el cual se evalúa la efectividad del sistema integrado diseñado. Para esto, se desarrolla una planificación piloto basada en la ejecución de los procesos diseñados y se evalúan los resultados obtenidos respecto al contexto real de la organización, con lo que se alcanza la verificación del potencial impacto que la contramedida diseñada brinda. Además, se desarrolla una sección de conclusiones del proyecto y recomendaciones.

Capítulo 1. Propuesta de proyecto

1.1. Justificación del proyecto

1.1.1. Descripción de la organización

INFRA GI de Costa Rica se creó en el año 2007, producto de la alianza de Grupo Fabrigás de Guatemala y Grupo INFRA de México. Es una organización privada de capital internacional, dedicada al envasado, distribución y comercialización de gases médicos, industriales, especiales y mezclas. Asimismo, se dedica a la instalación y soporte de redes de suministro de gases, la distribución de gas acetileno, hidrógeno, entre otros; así como la recalificación de cilindros. El principal proceso productivo es el llenado de cilindros con 4 principales gases: dióxido de carbono (CO₂), nitrógeno (N₂), argón (Ar) y oxígeno (O₂), la totalidad de presentaciones se observan en el Anexo 1 (INFRA GI de Costa Rica, 2021).

Esta empresa se encuentra ubicada en el Parque Industrial ZETA en Alajuela, cuenta con 42 colaboradores, seis líneas de envasado y los mercados primarios son la industria médica e industrial. Los principales clientes son la Caja Costarricense de Seguro Social, Nitinol Devices & Components, Synergy, Sigma Alimentos y constructoras; además, tiene como socios comerciales a Productos del Aire Guatemala, ECA Electroodos, Carbox CO-DOS, Air Products y Grupo INFRA de México. Tiene presencia en Belice, Guatemala, El Salvador, Honduras, Nicaragua, Panamá y República Dominicana (INFRA GI de Costa Rica, 2021).

1.1.2. Justificación del problema

El proceso de envasado en la empresa INFRA GI de Costa Rica consiste, de manera general, en conectar los cilindros a las líneas de llenado del banco, el cual consta de una estructura de alimentación que permite ingresar la materia prima en cada unidad. El primer paso consiste en vaciar el contenido residual de los cilindros, para después llenarlos a la presión específica, cerrar las válvulas y desconectarlos de la línea. De la totalidad de productos, el O₂, N₂, CO₂ y Ar representan el 57,3%, 8,8%, 13,1% y 20,9% de las ventas de enero a diciembre de 2021, respectivamente. Para mayor comprensión de lo descrito observar el Apéndice 1.

A continuación, se presentan los resultados de una evaluación de buenas prácticas en las diferentes etapas de la gestión de la producción y de inventarios en INFRA GI de Costa Rica, la cual se basa en lineamientos que establecen autores como Chapman (2006), Sipper y Bulfin (2012), Ballou (2004), entre otros, reconocidos en el tema y aplicables a la organización. A partir de estos, se elaboran listas de chequeo, mostradas en el Apéndice 2, que se evalúan a través de entrevistas con la jefe de planta, donde se busca el cumplimiento del 100%, por lo tanto, una brecha entre los porcentajes se considera oportunidad de mejora.

Respecto a la estimación de la demanda, actualmente, la empresa emplea un método empírico, el cual se basa en proyectarla cada mes según las ventas del mes respectivo del año anterior. Además, se realizan ajustes considerando las operaciones de los clientes, por ejemplo, si alguno planea la compra de una máquina o la expansión del mercado, se establece un porcentaje de incremento en la proyección.

Al evaluar el cumplimiento de buenas prácticas de estimación de dicho método se obtiene un 46,0%. Adicionalmente, se obtiene un error promedio de pronóstico (MAPE) para gases de 16,8%. Según Ghiani et al. (2004) se consideran errores aceptables; no obstante, este porcentaje alcanza 4,7% sobre las ventas totales de enero a setiembre de 2021 y la empresa considera aceptable un $\pm 5,0\%$, dicho comportamiento se observa en el Apéndice 3. Cabe destacar que, este indicador no es calculado para la toma de decisiones en el área de producción, además para un análisis más robusto del error de pronóstico, se debe considerar la totalidad de datos del año en curso y el estudio de la meta establecida.

El porcentaje de cumplimiento de buenas prácticas de planificación de la capacidad y de producción es de 39,0% y 13,0% respectivamente, el vacío más importante corresponde a que no se conocen los tiempos estándar de producción; sumado a esto, el método de planificación de la producción actual consiste en observar diariamente como se encuentra el inventario de cilindros llenos, y así se determina si es necesario producir o no; es decir, no se genera un plan maestro de producción.

Vinculado con lo anterior, la empresa genera desperdicios en las líneas de producción, según la jefe de planta se tiene un costo promedio mensual de merma de ₡13 153 796 (L. Borbón, comunicación personal, octubre 22, 2021) equivalente a ₡118 384 167 desde enero a setiembre de 2021, esto podría cubrir hasta 18 meses el pago de la planilla del personal de producción, la cual es de ₡6 276 433 mensuales. Cabe destacar, que estos costos consideran la merma generada durante el proceso productivo y la de descarga de materia prima en los tanques de la empresa y de clientes.

Se mantienen métricas de cumplimiento de merma en el proceso de llenado para cada producto, las cuales son de 1,0% para CO₂ y O₂, 15,0% para N₂ y 10,0% para Ar. Se debe considerar que, estas metas fueron definidas desde la fundación de INFRA GI de Costa Rica por parte de la casa matriz de la organización, ubicada en Guatemala, bajo el criterio de la frecuencia de envasado; es decir, como O₂ y CO₂ son los productos que más se envasan, mantienen métricas más estrictas, sin embargo, estas nunca se han actualizado.

Se realiza un análisis de los porcentajes de desperdicios mensuales por producto y se encuentra que únicamente se incumple la meta de CO₂ en un 22,2% desde enero a setiembre de 2021. En el caso del N₂ el valor máximo registrado es de 0,9% en el mes de febrero de 2021, esto se traduce en una diferencia de 14,2% con respecto a la meta. La misma situación se presenta para el O₂ y Ar, donde se tiene 0,8% y 3,0% como máximos respectivamente, ambos registrados en el mes de mayo de 2021. Los registros de desperdicios mensuales se observan en el Apéndice 4.

Puesto que la empresa no genera un plan maestro, mantiene picos de producción hasta de 5 642 kg diarios, donde el promedio corresponde a 2 209 kg con una desviación de 986 kg. Se analiza el periodo de enero a setiembre de 2021, y se encuentra que un 50,0% de los lotes están por encima de la media indicada. En relación con este hecho, se da la saturación del espacio físico en el área de producción, debido a que, por ejemplo, al llenar 5 bancos de O₂, que cada uno alimenta 24 envases, se tienen hasta 120 cilindros esperando a ser llenados.

Asociado con los picos de producción, se genera el pago de horas extra. En el periodo de enero a setiembre de 2021 se tiene un total de 1963 horas, distribuidas en 6 operarios de planta, lo cual corresponde a ₡4 400 418; es decir, mensualmente se pagan ₡488 935 en promedio con una desviación de ₡147 068 para cubrir las horas extra. Dicha media se ha incrementado por la tendencia creciente en el pago de horas extra en los últimos meses, la cual se muestra en el Apéndice 5. Sobre la jornada laboral ordinaria de 48 horas semanales, las extraordinarias representan un 20,0% adicional; de manera que, los operarios podrían experimentar fatiga y disminuir el nivel de productividad (Orejuela, 2014).

Adicionalmente, se incurre en viáticos de alimentación y transporte para los operarios, se cuantifica un gasto de ₡3 890 256 desde enero a setiembre de 2021. Las horas extra más viáticos suman un total de ₡8 290 674, con lo cual se podría cubrir un mes de pago de planilla del personal de producción, o bien, la incorporación de un nuevo operario en la línea.

Por otro lado, el restante 50,0% de los lotes que se encuentran por debajo del promedio de producción, se relacionan con la estimación de niveles necesarios de stock de cilindros vacíos y llenos, debido a que, la empresa desconoce la cantidad de cilindros totales que posee y se tiene establecido como inventario de seguridad (IS) mantener utilizada el 100,0% de la capacidad del área de cilindros llenos. Se encuentra que el porcentaje de cumplimiento de buenas prácticas de planeación del inventario es de 43,0%.

Debido a lo anterior, se da el faltante de cilindros vacíos, por ejemplo, de acuerdo con la jefe de planta, en abril de 2021 faltaron envases de O₂ médico para iniciar la producción diaria en 4 de los 6 días productivos (L. Borbón, comunicación personal, octubre 22, 2021). Ya que puede que, en la primera tanda no se llenaran los suficientes para completar los pedidos, y se debe esperar que ingresen cilindros vacíos; esto genera costos energéticos adicionales que no son cuantificados.

Por otro lado, la secuencia de producción se genera de manera empírica; solamente se tiene establecido iniciar con el llenado de O₂ y finalizar con Ar, al evaluar el porcentaje de cumplimiento de buenas prácticas de esta metodología se obtiene un 40,0%. En relación con lo mencionado, se tienen paros en las líneas de CO₂, N₂ y Ar por el ingreso de pedidos de O₂ médico, según la jefe de planta esto tiene una frecuencia de una vez cada 15 días (L. Borbón, comunicación personal, octubre 22, 2021), dado que dicho proceso necesita la totalidad de los operarios y representa el mayor porcentaje de ventas, sin embargo, estos paros no son registrados.

Además, por desconocer la cantidad de producto a elaborar y la carencia de un listado de materiales por producto, se dificulta el proceso de requerimiento de insumos. Como resultado, y en relación con el reabastecimiento de inventario, cuyo cumplimiento de buenas prácticas es de 31,0%, no se cumple con el nivel mínimo requerido de materia prima en el tanque, el cual es de 50,0% para O₂ y 40,0% para los demás productos, con el fin de ejecutar el llenado de los cilindros sin sobre esforzar las bombas.

En el periodo de enero a setiembre de 2021, los tanques con CO₂, N₂, O₂ y Ar infringieron el mínimo en 34,0%, 30,0%, 10,0% y 19,0% respectivamente, el incumplimiento mensual del inventario de seguridad en los tanques se observa en el Apéndice 6. No

cumplir el nivel requerido, contribuye al uso inadecuado de las bombas y propicia el desgaste acelerado, ya que, según la jefe de planta, disminuye hasta en un 20,0% la vida útil, adicionalmente, adelanta el mantenimiento correctivo en un 30,0% y genera costos en cambio de componentes fríos y calientes, empaques y tiempos muertos (L. Borbón, comunicación personal, octubre 22, 2021).

La medición del desempeño del proceso productivo se lleva a cabo mediante el monitoreo de la merma, el nivel de servicio y la cantidad de cilindros generados por día, no obstante, se desconoce si este último es un indicador adecuado o no. La meta de cumplimiento de pedidos es del 99,0%, la cual se trata de alcanzar estrictamente; de enero a agosto de 2021 el cumplimiento es de 99,5%. Para lograr ese nivel de servicio, la empresa incurre en costos que no contemplan, por ejemplo, desperdicios, especialmente en la línea de oxígeno por el llenado de bancos incompletos, debido a que la merma será la misma si se llena medio banco o más de un banco; así como un mayor consumo energético y de horas extra.

En relación con lo anterior, la eficiencia, en términos de tiempo productivo no se mide, esto se vincula con el desconocimiento de los tiempos estándar. Tampoco se lleva control del desperdicio de etiquetas, sellos ni de cilindros con fugas detectados en la producción, como consecuencia se generan mermas que no son cuantificadas y eleva el costo final del producto.

Finalmente, los datos generados por los indicadores no se utilizan para la toma de decisiones a nivel productivo, como consecuencia “no se pueden detectar desviaciones con respecto a los resultados esperados y reaccionar ante las adversidades que se puedan presentar” (Prado et al., 2020, p. 179). Además, no se realiza la medición del desempeño del método de reabastecimiento de materia prima por lo que corren el riesgo de no poder realizar aprovisionamientos adecuados y a tiempo, con la finalidad de lograr atender la demanda del producto y controlar los costos de almacenamiento innecesarios (Cruz, 2017).

1.1.3. Definición del problema

La estructura, ejecución y vínculo entre los componentes necesarios para la toma de decisiones de planificación y control de la producción, capacidad, inventarios y medición del desempeño de la empresa INFRA GI de Costa Rica son inadecuados¹, lo que provoca desperdicios, inapropiado uso de los equipos y el pago de horas extra, afectando la productividad; esto impacta de manera directa y negativa en los costos operativos para garantizar el nivel de servicio establecido por la organización.

1.1.4. Alcance del proyecto

El proyecto se desarrolla en la planta de producción de INFRA GI de Costa Rica. Se consideran los gases que son envasados en la organización: CO₂, O₂, N₂ y Ar, que en conjunto representan el 27,7% de las ventas totales. No se consideran las familias de soldadura, relativos, servicios, líquidos y gases que no son preparados por la empresa.

1.1.5. Beneficios asociados al proyecto

A continuación, se presentan los aportes del proyecto a la sociedad y a la organización.

18 ¹Se interpreta como “adecuado” el cumplimiento de las buenas prácticas establecidas por los autores expertos en la temática, tal como fue señalado en la justificación del problema.

1.1.5.1. Beneficios para la sociedad

Se identifican tres beneficios del proyecto para la sociedad.

- a. El proyecto busca la mejora de las operaciones de la empresa, reduciendo los costos y fortaleciendo la respuesta a los clientes; lo cual contribuye a la estabilidad de la organización asegurando el empleo de los trabajadores y el suministro de oxígeno médico para el sector salud.
- b. La propuesta se orienta al aprovechamiento adecuado de los recursos, de modo que, el impacto ambiental por el consumo energético se disminuye.
- c. Al fortalecer las operaciones la empresa sería capaz de aumentar la gama de clientes, lo cual permite el crecimiento de la organización, aportando a la economía del país.

1.1.5.2. Beneficios para la organización

Con el proyecto la empresa obtiene una reducción de costos, al establecer un método para la planeación de la producción que integre la capacidad y sea apto para evitar el desgaste acelerado del equipo, paros en las líneas y costos extra en los que incurren para satisfacer las órdenes de los clientes. Mediante la implementación de indicadores a nivel productivo y de inventarios, se busca facilitar a los encargados la toma de decisiones sobre el proceso y asegurar el cumplimiento de los requerimientos de materia prima en el momento preciso.

1.2. Objetivo general e indicadores de éxito

1.2.1. Objetivo general

Diseñar un sistema integrado de planificación y control de la producción, capacidad, inventarios y medición del desempeño de la empresa INFRA GI de Costa Rica, que permita la reducción de los costos, la toma de decisiones informada para satisfacer los requerimientos del cliente y contribuya a la sostenibilidad de la empresa.

1.2.2. Indicadores de éxito

Se utilizan los siguientes indicadores con el fin de demostrar el cumplimiento del objetivo.

- a. Productividad: Indica la razón entre un recurso (entrada) y los bienes producidos (salida) (Heizer y Render, 2004).

$$\text{Productividad} = \frac{\text{Unidades producidas}}{\text{Insumo empleado}}$$

(1)

- b. Horas extra: Cantidad de horas adicionales trabajadas sobre la jornada ordinaria.

$$\text{Porcentaje de horas extra} = \frac{\text{Horas extra en el periodo}}{\text{Total de horas en el periodo}} * 100$$

(2)

- c. Nivel de servicio: Fracción de órdenes de producción a tiempo y completas (Chopra y Meindl, 2008).

$$\text{Nivel de servicio} = \frac{\text{Cantidad de pedidos cumplidos}}{\text{Cantidad de pedidos registrados}} * 100 \quad (3)$$

1.3. Marco de referencia teórico

El proyecto en cuestión se enfoca en las etapas de planificación y control, las cuales forman parte de la gestión de la producción, definida según Prado et al. (2020, p. 165) como “actividades destinadas a la planificación, programación y control de la producción, a partir de la previsión de la demanda, pedidos en firme, niveles de stock e información relativa a los recursos, procesos productivos y aprovisionamiento de materia prima”.

La planificación consta de distintos horizontes, se inicia con la planeación agregada, la cual tiene como propósito asignar los recursos disponibles entre las diferentes actividades productivas a ejecutar (Company's, 2009); es decir, “establece la cantidad global que se va a producir en términos generales, por ejemplo, familias de producto, horas estándar o volumen en dólares” (Heizer y Render, 2008, p. 154). Actualmente, la empresa cuenta con un plan agregado de la producción, sin embargo, este no cumple el objetivo, el cual según Company's (2009) es realizar un plan maestro de producción que indique las cantidades de elementos a producir y establecer la utilización de los recursos.

De acuerdo con los autores Prado et al. (2020) y Palacios (2019) en la planificación de la producción, se debe de considerar los pronósticos, la capacidad, facilidades y los recursos de la empresa, con el fin de minimizar costos y responder a la demanda. Dichos recursos incluyen: cantidades de mano de obra, materias primas, maquinaria y equipo. Además, brinda beneficios en inventarios, necesidades de recurso humano, tiempo necesario, niveles de producción y planeación de la capacidad (Chapman, 2006).

Con respecto al control de la producción, según Prado et al. (2020) es una etapa fundamental para el correcto desempeño del sistema productivo, este comprende tareas de monitorización y evaluación de las actividades productivas con el fin de detectar desviaciones. En general, se puede definir como la toma de decisiones y acciones que son necesarias para corregir el desarrollo de un proceso, de modo que se apegue al plan trazado (Monsalve, 2018).

Mediante el control de la producción, se llevan a cabo evaluaciones periódicas, las cuales consideran: la capacidad de producción y la demanda (Monsalve, 2018). A través de dichas evaluaciones, es preciso que se generen datos útiles para la administración, tales como: estado de los pedidos y recursos, medición del desempeño en función de estándares, informes de desperdicios y reprocesos, notificación de problemas, trabajos pendientes y eficiencia (Chapman, 2006).

Para que la planificación y control de la producción se lleven a cabo de manera correcta, se deben tomar acciones y decisiones, derivadas de una serie de componentes que, según Sipper y Bulfin (1998, p. 8) incluyen flujos de materiales e información entre los “productos, clientes, materia prima, proceso de transformación, trabajadores directos e indirectos y los sistemas formales e informales”. En INFRA GI de Costa Rica la estructura, ejecución y el vínculo de estos componentes no permiten generar información para dicha toma de decisiones.

Las actividades anteriores se desarrollan en el marco de un sistema de producción, el cual se define como “una actividad que toma un insumo y lo transforma en una salida o producto con valor inherente” (Sipper y Bulfin, 1998, p. 7). Existen sistemas pull y push,

donde la principal diferencia radica en el mecanismo que activa el movimiento de trabajo. Un sistema push se programa basado en demanda, pedidos o pronósticos y requiere de recolección de datos e infraestructura computacional robusta, además se caracteriza por tener una demanda volátil (Chapman, 2006; Hopp y Spearman, 2008).

Por otro lado, pull autoriza la activación mediante el estado propio del sistema a partir de señales de vacíos en un nivel de existencias, estos se caracterizan por tener una demanda alta y predecible, por lo que pueden desarrollarse con metodologías kanban. Se destaca la posibilidad de implementar sistemas híbridos que abarquen los beneficios de pull y el enfoque hacia el cliente de push (Chapman, 2006; Hopp y Spearman, 2008).

Cuanto más eficiente sea la transformación llevada a cabo por el sistema de producción, mayor será la productividad, comprendida como la razón entre salidas e insumos (Heizer y Render, 2004), permitiendo así, medir la gestión de los recursos para cumplir los resultados planificados (Gómez y Brito, 2020). Por lo tanto, este sistema mantiene como eje central el sentido de obtener buenos resultados y la importancia de la interacción entre los componentes (Sipper y Bulfin, 1998).

Un sistema de gestión de la producción de obtener buenos resultados, se tiene la sostenibilidad de la empresa, esta se comprende como un equilibrio entre los intereses económicos, la sociedad y el ambiente (Slack et al., 2013). El proyecto en cuestión mantiene un enfoque hacia lo económico, donde se busca crear valor al cliente de forma eficiente y sostenible mediante un sistema que tenga una ventaja sobre los competidores; por medio de la gestión de los recursos según las capacidades de la organización (Heizer y Render, 2007; Slack et al., 2013).

Según Slack et al. (2013, p. 82) “la forma en que una organización hereda, adquiere o desarrolla los recursos operativos tendrá, a largo plazo, un impacto significativo en el éxito estratégico”, debido a que, las decisiones tácticas impactan de manera directa el rendimiento de la empresa, por lo tanto, la integración de los sistemas puede convertirse en una fuente de ventaja competitiva sostenible (Hopp y Spearman, 2008).

Los sistemas que examinaban cada componente por separado ya no funcionan, debido a que estos se encuentran interrelacionados y cada uno realiza una tarea en específico, de modo que, si algún componente falla, podría fallar la totalidad del sistema (Heizer y Render, 2007). Por lo que, el objetivo del proyecto consiste en un sistema integrado en la empresa INFRA GI de Costa Rica que permita comprender el todo y no un solo elemento; es decir, buscar la mejora conjunta en lugar de la individual (Sipper y Bulfin, 1998).

La planificación y control tradicional es una herramienta de producción, sin embargo, cuando se integra es más que eso; es un concepto con una filosofía y herramientas para la implementación y control (Sipper y Bulfin, 1998), esta integración se busca, especialmente, en los sistemas de planificación, que se encargan de que los productos, componentes y materiales de los procesos se encuentren en la clase, cantidad y momento requerido (Cuatrecasas, 2012); y los sistemas de control, que permiten vigilar y corregir el desempeño del sistema (Sipper y Bulfin, 1998).

Según los autores Sipper y Bulfin (1998) y Prado et al. (2020) el sistema integrado de planificación y control debe ser alimentado inicialmente por pronósticos, para que, en conjunto con el análisis de la capacidad, permita elaborar el plan agregado de ventas y

operaciones. Seguido, se procede a la descomposición, que dará paso a la planeación a corto plazo, la cual genera el plan maestro de producción.

Después de la planeación se procede a programar la producción, donde se debe definir la secuencia, los parámetros de calidad y puntos críticos de control, para asegurar que se realice lo establecido en la planificación (Heizer y Render, 2004). La siguiente etapa corresponde al seguimiento y control del desempeño, la cual provee de información esencial para la toma de decisiones productivas (Prado et al., 2020). A continuación, se aborda a detalle los componentes necesarios para el diseño de un sistema integrado de planificación y control.

1.3.1. Pronósticos de la demanda

Las actividades de planeación y control de la producción inician con el pronóstico de la demanda, los cuales se utilizan para predecir el comportamiento de acontecimientos futuros, que tendrán implicaciones sobre la organización y se utilizarán con propósitos de planificación (Hopp y Spearman, 2008; Krajewski et al., 2008). La previsión de la demanda permite definir objetivos, presupuestos, ventas, ordenar las compras según el inventario mínimo necesario, programar la producción de acuerdo con necesidades del mercado, equipo, mano de obra y personal administrativo (Palacios, 2019).

Para realizar la estimación de la demanda, existen métodos de pronósticos como: el subjetivo o cualitativo, que se basa en opinión experta; los causales, los cuales relacionan una variable que se quiera pronosticar con otra, y los de series de tiempo, que están basados en principios estadísticos y utilizan datos pasados con el fin de determinar el futuro (Krajewski et al., 2008; Sipper y Bulfin, 1998). La selección del método a utilizar depende de la naturaleza de la empresa, los productos, la tecnología, los recursos, los sistemas de información, el marco de tiempo, la exactitud y los aspectos por pronosticar (Palacios, 2019).

Según los autores Chopra y Meindl (2008) y Hopp y Spearman (2008) para llevar a cabo los pronósticos los pasos a considerar son: comprender cual es el objetivo de la proyección, integrarlo en las actividades de la empresa, entender e identificar los segmentos de clientes y los principales factores que influyen, determinar la técnica apropiada según el patrón existente, ya sea constancia, tendencia, estacionalidad, aleatoriedad o ciclicidad (Krajewski et al., 2008); establecer medidas de desempeño y error de pronóstico.

Con respecto a la monitorización y medición de la exactitud del pronóstico, los autores Chopra y Meindl (2008) y Hopp y Spearman (2008) indican que la desviación absoluta media, señal de rastreo, desviación cuadrática media, Bias y MAPE son medidas cuantitativas comunes para evaluar los modelos de pronóstico. Si los errores se encuentran dentro de las estimaciones históricas, la empresa puede continuar utilizando el método actual; de lo contrario se deja de considerar apropiado (Chopra y Meindl, 2008). La empresa bajo estudio no posee una métrica de medición del desempeño, por lo cual, se desconoce si el método empírico utilizado es adecuado o no.

1.3.2. Planificación de los requerimientos de capacidad (CRP)

El sistema productivo incluye una cantidad significativa de limitaciones en cuanto a los recursos técnicos y humanos, que se deben considerar para la toma de decisiones

(Prado et al., 2020), en relación con esto, se determina la capacidad de la empresa, la cual según los autores Heizer y Render (2004) se comprende como la salida o número de unidades que puede tener, almacenar o producir una planta de producción en un periodo determinado.

La capacidad diseñada es la salida teórica máxima que una empresa puede obtener; por otro lado, la efectiva es la que se espera alcanzar dadas las restricciones de operación, por lo cual, se deben considerar los indicadores de utilización y eficiencia, relacionados a la tasa de capacidad diseñada que se alcanza y el porcentaje de capacidad efectiva que la empresa mantiene, respectivamente (Heizer y Render, 2004).

El CRP tiene como tarea determinar la capacidad efectiva, de manera que la operación pueda responder a las demandas que se le imponen (Slack et al., 2013). Este proceso implica el establecimiento, ajuste y medición de los niveles disponibles en un sistema, con el objetivo de ejecutar de manera fluida los programas de producción (Gómez y Brito, 2020), según los autores Heizer y Render (2004) abarca tres horizontes de tiempo:

- a. Largo plazo: Mayor a un año, con enfoque a instalaciones y equipo necesario.
- b. Mediano plazo: Entre 3 y 18 meses, considera agregar equipo, personal o turnos.
- c. Corto plazo: 3 meses, plantea la programación de trabajos, personas y maquinaria.

Además, requiere determinar la capacidad requerida y la actual, según 4 la primera implica conocer las demandas de productos individuales, y se realiza en tres pasos: el uso de técnicas de pronóstico para cada producto, cálculo del equipo y mano de obra necesaria para cubrir la demanda y proyección de los recursos disponibles. Y para medir la segunda, según los autores Gupta y Starr (2014), se utiliza la Ecuación 4.

$$\text{Capacidad} = \text{Tiempo disponible} * \text{Eficiencia} * \text{Utilización} \quad (4)$$

El tiempo disponible corresponde a aquel cuando los recursos están siendo utilizados en la totalidad, por lo que, al multiplicarlo por la eficiencia se obtienen las horas estándar a disposición para producir. Por otro lado, la utilización es un factor de corrección para el tiempo estándar cuando hay interrupciones; y la eficiencia convierte las unidades de producción en tiempos estándar, por lo tanto, la Ecuación 4 brinda la relación entre las horas estándar reales y las máximas (Gupta y Starr, 2014).

En relación con lo anterior, Pérez (2007) indica que el CRP requiere, además de sólo determinar la capacidad necesaria en los centros de trabajo, compararla con la existente; esto con el objetivo de satisfacer las órdenes de fabricación generadas por la planeación de la producción. Este método se lleva a cabo en cuatro pasos generales:

- a. Determinar la carga en cada centro de trabajo.
- b. Establecer periodos de entrega.
- c. Determinar la capacidad necesaria.
- d. Comparación con la capacidad disponible y determinar desviaciones.

De acuerdo con Heizer y Render (2007), este análisis permite obtener retroalimentación sobre la carga en cada espacio físico de producción, debido a que los informes de carga muestran las necesidades en un centro de trabajo para hacer frente a las asignaciones actuales, la planificación y a las órdenes esperadas. Considerando lo anterior, es

fundamental que la empresa INFRA GI de Costa Rica conozca la capacidad y pueda planificarla.

1.3.3. Planeación agregada

Luego de definir los pronósticos y la capacidad de la organización, se procede a realizar la planeación agregada. Esta corresponde a un proceso para determinar los niveles de capacidad, producción e inventario a nivel de decisiones agregadas; es decir, la función es establecer la cantidad de producto por familias y el momento de producción en un horizonte determinado, generalmente entre los siguientes 3 a 18 meses (Chase et al., 2009; Chopra y Meindl, 2008).

En esta etapa se obtienen beneficios como minimizar el costo total durante el periodo de planificación, prever las necesidades de mano de obra, disminuir el inventario e incrementar el nivel de servicio. Para llevar a cabo la planeación agregada correctamente y obtener los beneficios descritos, se tienen cuatro requerimientos básicos (Heizer y Render, 2008):

- a. Una unidad lógica global para medir ventas y producción.
- b. Previsión de la demanda para un horizonte medio.
- c. Método de determinación de costos.
- d. Un modelo que combine previsiones y costos.

La elaboración del plan agregado puede abordarse por métodos como: tablas y gráficos, método de transporte de programación lineal y modelo de los coeficientes de gestión (Heizer y Render, 2008). Además, utiliza técnicas de ajuste según la capacidad o la demanda, permitiendo así dar respuesta a las variaciones de esta mientras se continúa produciendo con altos niveles de calidad y al menor costo (Heizer y Render, 2004).

La planeación agregada abre paso a la planificación de corto plazo, la cual se encarga de desagregar las familias o grupos a unidades. Cuando se utiliza un horizonte a corto plazo, menor a 3 meses, se pretende la creación del plan maestro de producción, análisis del nivel de inventario, la programación y los requerimientos de materiales (Chase et al., 2009).

1.3.4. Plan maestro de producción (MPS)

El MPS se define como un programa de fabricación el cual indica qué, cuánto y cuándo se va a producir. Se toma en consideración la disponibilidad de capacidad, materiales y tiempos; por lo tanto, se debe verificar la factibilidad del plan respecto a estos elementos y si es insuficiente, se debe de ajustar. Además, incluye las cantidades exactas, tiempos de entrega y la demanda para cada producto terminado (Hopp y Spearman, 2008; Sipper y Bulfin, 1998).

Según Hopp y Spearman (2008) el MPS es la fuente del requerimiento de materiales, debido a que se elabora el plan para cada producto y los componentes, proporcionando la cantidad y fechas de vencimiento de todas las piezas con demanda independiente. Esta planificación proyecta el inventario disponible en el tiempo, y cuando no hay producto para satisfacer la demanda futura, los pedidos se ingresan en la línea de programación maestra (Krajewski et al., 2008; Slack et al., 2013).

El periodo de tiempo para el MPS es menor que para el plan agregado, debido a que por lo general es mensual, trimestral o cuatrimestral, asimismo, entre “menor sea el horizonte temporal contemplado, mayor certeza existirá en la cantidad a fabricar” (Prado et al., 2020, p. 170), sin embargo, la minimización de este tiempo se ve influida por la flexibilidad del sistema productivo. Además, el plan es afectado por cambios puntuales, por lo que debe ser recalculado mensualmente (Cuatrecasas, 2012; Prado et al., 2020). Según Slack et al. (2013) existen dos métodos para calcular el MPS, cabe destacar que la mayoría de las organizaciones realizan una combinación de estos:

- a. MPS perseguidor: Este método intenta hacer coincidir la capacidad con los niveles variables de demanda pronosticada. Cada periodo puede necesitar diferentes cantidades de personal, equipo y horas de trabajo, además, contribuye a minimizar o eliminar el inventario de producto terminado.
- b. MPS nivelador: La capacidad de procesamiento se establece de manera uniforme durante el periodo de planificación, este consiste en promediar la cantidad que se debe completar con el fin de suavizar los picos y los valles, por lo que, genera más inventario que el perseguidor.

El MPS proporciona información útil para negociar las entregas (Krajewski et al., 2008), por lo tanto, permite cumplir los compromisos con los clientes, utilizar de manera eficaz la capacidad de las instalaciones, lograr los objetivos estratégicos y acordar necesidades de fabricación, finanzas y marketing; es decir, la negociación interfuncional con los presupuestos de fabricación y capital (Palacios, 2019).

1.3.5. Planeación de requerimiento de materiales (MRP)

Esta planeación se encarga de definir la cantidad de insumos necesarios para cumplir con la demanda, además, integra las decisiones y parámetros que influyen en el aprovisionamiento para asegurar que los procesos cuenten con la materia prima suficiente. Los productos suelen estar divididos en componentes, por lo que tienen una demanda dependiente y se debe segregar hasta establecer los requerimientos de material de cada parte (Prado et al., 2020).

El MRP interpreta los datos de la cantidad de producto aportados por el plan maestro de producción, verifica la cantidad de partes en las listas de materiales por producto, pasando de piezas finales a componentes y se estima la cantidad bruta necesaria. Luego, se analiza el nivel de inventario actual y se procede a calcular la cantidad neta requerida de cada material. Durante esta planeación se debe considerar el plazo de aprovisionamiento y la fecha de entrega establecida con los clientes (Chase et al., 2009).

Al realizar el MRP, la organización logra conocer a detalle los insumos necesarios para abarcar la demanda, esto da paso a reconsiderar el análisis de capacidad inicial y definir si es posible ejecutarlo (Heizer y Render, 2008). Además, permite replantear el nivel de inventario, posibilita la planeación de los recursos de la empresa y representa un componente principal para la programación de la producción (Prado et al., 2020).

1.3.6. Programación de la producción

Con la planificación de la producción se establecen las necesidades de cantidad de productos, materiales, capacidad y la estrategia de aprovisionamiento, además, proporciona un marco inicial para la programación. La cual se encarga de establecer la

secuenciación de tareas, abarcar las limitaciones del sistema productivo y definir la ruta de fabricación, esta última es la secuencia de procesos por los que pasa el producto para materializarse y se debe ejecutar sin comprometer las restricciones de capacidad (Heizer y Render, 2008; Prado et al., 2020).

Como beneficio, permite el traslado de un plano incierto a uno definido y real, debido a que todo lo previsto pasa a ser ejecutado, esto trae consigo que la programación esté ligada a las limitaciones del sistema productivo; es decir, si el sistema falla se tienen repercusiones directas en la ejecución, por lo tanto, debe ser flexible de modo que pueda lidiar con las desviaciones detectadas, considerando que un nuevo pedido podría modificar la secuenciación establecida (Heizer y Render, 2008).

Según Chase et al. (2009) y Heizer y Render (2004) la programación debe orientarse y segregarse en función de dar prioridad a lo que se pretende cumplir, para esto, se siguen los siguientes criterios:

- a. Minimizar el tiempo de terminación.
- b. Minimizar el inventario de trabajos sin terminar.
- c. Maximizar la utilización.
- d. Minimizar el tiempo de espera del cliente.
- e. Minimizar el tiempo ocioso de máquinas y trabajadores.

Ahora bien, para realizar la secuencia de la producción, Chase et al. (2009) establecen los siguientes métodos: reglas de prioridad, regla de Johnson, método de asignación, simulación o métodos computarizados; el adecuado a utilizar depende de la cantidad de trabajos a ejecutar y el equipo o maquinaria disponible. La secuenciación sirve como base para realizar la planificación de horarios de trabajo, estimar el tiempo de entrega y dar una visión del requerimiento de inventario para cumplir con dicha programación (Heizer y Render, 2008).

1.3.7. Planificación del inventario

La planificación de los inventarios permite cumplir con las prioridades competitivas de la organización, potenciar toda la cadena de valor y alcanzar los objetivos de manera eficiente. Para ello, se requiere información sobre demandas, puntos de reorden, unidades disponibles y en proceso; y sustituir técnicas como reducir el nivel de inventario para bajar costos o tener unidades en exceso para satisfacer la demanda, por un enfoque hacia mantener la cantidad correcta en el momento adecuado (Krajewski et al., 2008).

De acuerdo con los autores Ballou (2004), Chase et al. (2009) y Heizer y Render (2008), los inventarios en manufactura se clasifican en: producto terminado, componentes, suministros, trabajo en progreso y materia prima, este último se refiere a los insumos adquiridos que no se han procesado, y según los hallazgos preliminares es el inventario de interés para la organización bajo estudio.

El principal objetivo de los inventarios corresponde a asegurar que el producto esté disponible en el momento requerido y se basa en la probabilidad de cumplimiento del nivel de servicio (Ballou, 2004). Para cumplir dicho objetivo, se tiene el inventario de seguridad, el cual se define como "la cantidad de artículos que debe mantenerse en inventario con la finalidad de impedir la interrupción (agotamiento) en el suministro,

causado por demoras en las entregas o por una demanda imprevista” (Gómez y Brito, 2020, p. 182).

Según el autor Ballou (2004) existen distintos métodos de manejo de inventarios, sin embargo, se deben de considerar las condiciones de demanda, el tiempo de entrega, los costos asociados a la tenencia y el análisis de la metodología del tipo de sistema de producción: push, pull o la combinación de ambos, con el fin de elaborar un plan ideal y específico.

En la gestión de inventarios se identifican distintas variables con valores óptimos, estas permiten a la organización tomar decisiones, por ejemplo, se tiene el punto de reorden, definido por Frazelle (2002, p. 129) como “el nivel de inventario en el que se coloca una orden de reabastecimiento”, tomando en consideración el lead time y el stock de seguridad. A partir de lo anterior, existen cuatro diseños de reabastecimiento de inventarios: (ROP, EOQ), (ROP, OUL), (RTP, OUL) y (RTP, ROP, OUL); donde la política más adecuada dependerá de las características del artículo y de las condiciones logísticas (Frazelle, 2002).

1.3.8. Seguimiento y control del desempeño

Según Chapman (2006) el control de la actividad de producción consiste en vigilar el proceso de fabricación del producto y para ejecutarlo de manera correcta, se requiere una planificación ya establecida, información sobre órdenes a procesar, estado de pedidos existentes, datos de ruteo, tiempo de espera, estado de los recursos, cantidad de personal, equipo, capacidad y materiales disponibles. Además, la retroalimentación del sistema de control es fundamental para el correcto funcionamiento, por lo que se deben considerar aspectos como: cantidades producidas, problemas, estado del equipo e información de la fuerza de trabajo para el cálculo de eficacia y utilización.

De acuerdo con los autores Prado et al. (2020) existen tres grupos de actividades asociadas al seguimiento y control, correspondientes a: recopilación de información sobre la situación y comportamiento del sistema productivo, valoración del nivel de cumplimiento mediante el uso de indicadores para medir, analizar y mejorar; y finalmente, la aplicación de acciones preventivas, correctivas, y/o de mejora.

En esta etapa se requieren herramientas de análisis, por ejemplo, en sistemas compuestos por tareas discretas se utilizan las listas de despacho, estas ofrecen datos como: estimados de tiempo y capacidad, información de procesamiento y tamaños de lote; esta lista permite a los colaboradores planificar con más detalle la secuencia de tareas. Otro recurso corresponde al diagrama de Gantt, el cual funciona para la programación del trabajo según prioridades y la evaluación del estado de la secuencia (Chapman, 2006).

En este sentido, el control de la desviación gestiona cambios en el proceso o la entrada, busca establecer metas y medir las diferencias (Sipper y Bulfin, 1998). El control de la producción implica la precisión y conocimiento de los tiempos de proceso y de espera, sin embargo, algunas fluctuaciones podrían afectar, por lo tanto, se incurre en acciones correctivas, entre las cuales se encuentran: subcontratación, cancelación de pedidos, traslape de operaciones, entre otros (Chapman, 2006).

1.3.9. Toma de decisiones

Según los autores Hopp y Spearman (2008) este proceso permite determinar en qué trabajar, quién lo realizará, qué acciones se toman para mantener el equipo, entre otros. Además, estas decisiones abordan el control de las acciones que llevan a cabo el movimiento de material y trabajadores, ajuste de procesos y equipos, con el fin de asegurar que el sistema continúe funcionando hacia el cumplimiento de los objetivos estratégicos de la organización.

En relación con los procesos productivos, los autores Heizer y Render (2008, p. 308) indican que “la eficacia de las operaciones depende de una toma de decisiones cuidadosa”. Para ejecutarla se requiere definir los criterios de decisión, disponer de herramientas para comparar las alternativas y establecer el objetivo, considerando aspectos como buscar el mejor valor monetario, maximizar los resultados o minimizar el desperdicio.

Además, como insumo se necesita de la generación y recopilación de datos (Heizer y Render, 2008), para ello, las empresas pueden optar por sistemas de información, los cuales permiten integrar las actividades financieras, comerciales, contables, logísticas, entre otras, y destacan las tecnologías como gestión de producción asistida por ordenador o planificación de recursos de fabricación (Prado et al., 2020). Por otro lado, Sipper y Bulfin (1998) indican que estos sistemas no deben implicar una inversión mayor al beneficio esperado; es decir, se invierte hasta que los costos son iguales a los rendimientos esperados.

Finalmente, a manera de síntesis, los componentes descritos en los apartados previos son el fundamento para el diseño del sistema integrado de planificación y control propuesto, cada uno aporta lineamientos de relevancia, que de manera integrada permiten la toma de decisiones informada en el proceso productivo, para satisfacer las expectativas de los clientes, la gestión adecuada de los recursos y la sostenibilidad de la empresa INFRA GI de Costa Rica.

1.4. Metodología general

En esta sección se presenta la metodología del proyecto, la cual busca responder de manera directa a la resolución del problema y del objetivo general. La Tabla 1 incluye actividades, herramientas y productos esperados a ejecutar en las etapas de diagnóstico, diseño y validación, cabe destacar que, las herramientas de estadística descriptiva, entrevistas y revisión bibliográfica son transversales a todas las actividades.

Tabla 1

Metodología general del proyecto

	Actividades	Herramientas	Productos esperados
Diagnóstico	Identificación de los procesos y productos que forman parte del sistema de planificación y control.	<ul style="list-style-type: none"> • Entrevistas. • Análisis ABC. • Revisión documental. 	<ul style="list-style-type: none"> • Procesos y productos de interés identificados.
	Comparación de los métodos actuales de ejecución contra buenas prácticas.	<ul style="list-style-type: none"> • Mapeo de procesos. • Observación directa. • Análisis de brechas. • Análisis de valor. • Entrevistas. • Listas de chequeo. • Revisión bibliográfica. 	<ul style="list-style-type: none"> • Porcentaje de buenas prácticas y el impacto. • Valor agregado de los métodos de ejecución actual y documentado. • Oportunidades de mejora. • Análisis crítico de la pertinencia del método de ejecución actual y el documentado.
	Evaluar el origen de los desperdicios asociados al método de trabajo.	<ul style="list-style-type: none"> • Diagrama Ishikawa. • 5 porqués. • Revisión bibliográfica. • Entrevistas. • Observación directa. 	<ul style="list-style-type: none"> • Causas asociadas a los métodos de trabajo que impactan en la generación de desperdicios o están asociadas negativamente a la generación de valor.
	Análisis del error de pronóstico.	<ul style="list-style-type: none"> • Estadística descriptiva. • Estadísticos del error. • Entrevistas. • Revisión documental. • Estudio de desviaciones. • Gráficos de series de tiempo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Componentes, patrones de comportamiento y proyecciones de demanda y el impacto en la planificación agregada de la producción.
	Medición de la desviación en los tiempos de ejecución del proceso productivo.	<ul style="list-style-type: none"> • Estudio de tiempos. • Estadística descriptiva. • Observación directa. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tiempos de ejecución de los métodos de trabajo actuales y el impacto en la planificación de la capacidad.

Tabla 1

Metodología general del proyecto (continuación)

	Actividades	Herramientas	Productos esperados
Diagnóstico	Análisis de la cantidad de volumen producido y de fuentes de desperdicio de materia prima.	<ul style="list-style-type: none"> • Estadística descriptiva. • Revisión documental. • Entrevistas. • Observación directa. • Gráficos de series de tiempo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Máximos y mínimos en los niveles de producción y el impacto. • Fuentes de desperdicio e impacto.
	Análisis en los niveles de stock de producto terminado y cilindros vacíos.	<ul style="list-style-type: none"> • Estadística descriptiva. • Revisión documental. • Entrevistas. • Observación directa. • Gráficos de series de tiempo. • Revisión bibliográfica. 	<ul style="list-style-type: none"> • Pertinencia del método actual de planificación de inventarios y las implicaciones a nivel operativo y financiero.
	Evaluación de la pertinencia de los indicadores actualmente utilizados por la organización.	<ul style="list-style-type: none"> • Revisión documental de indicadores. • Estudio de desviaciones. • Entrevistas. • Estadística descriptiva. • Revisión bibliográfica. 	<ul style="list-style-type: none"> • Idoneidad de indicadores utilizados actualmente y el método de evaluación respecto a niveles esperados.
	Medición de nuevos indicadores recomendados por la literatura.	<ul style="list-style-type: none"> • Estadística descriptiva. • Revisión bibliográfica. • Revisión documental. 	<ul style="list-style-type: none"> • Niveles de desempeño y el impacto.
Diseño	Elaboración de los métodos para cada uno de los procesos y las relaciones.	<ul style="list-style-type: none"> • Mapeo de procesos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Procesos, procedimientos y puestos diseñados.
	Reestructuración de los métodos documentados actuales de los procesos productivos.	<ul style="list-style-type: none"> • Manual de puestos y procedimientos. 	
	Medición de los tiempos estándar de los procesos productivos.	<ul style="list-style-type: none"> • Estudio de tiempos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tiempos estándar de ejecución de los métodos de trabajo.
	Definición de la estructura general de la aplicación.	<ul style="list-style-type: none"> • Ingeniería de requerimientos. • Revisión bibliográfica. 	<ul style="list-style-type: none"> • Requerimientos funcionales.

Tabla 1*Metodología general del proyecto (continuación)*

	Actividades	Herramientas	Productos esperados
	Programación de cada módulo de trabajo.	• Herramientas de soporte de ofimática.	• Herramienta ofimática.
	Elaboración del procedimiento de uso de la aplicación.	• Manual de usuario.	• Procedimiento de uso.
Diseño	Definición de los métodos para la medición de los indicadores.	• Mapeo de procesos. • Manual de puestos y procedimientos. • Modelo Scorecard.	• Proceso, procedimientos y puestos diseñados.
	Definición de los indicadores, responsables y la ejecución de las tareas.	• Revisión bibliográfica. • Manual de procedimientos.	• Perfil de procedimientos.
	Creación de un panel de control para los indicadores.	• Cuadro de mando. • Gráficos de control.	• Panel de control de indicadores.
	Ejecución del proceso de estimación de la demanda.		
Validación	Elaboración de un plan maestro de producción piloto.	• Fichas de procesos diseñados.	• Nivel de cumplimiento de la demanda a partir de la planificación propuesta.
	Ejecución del proceso de planificación de la capacidad operativa.	• Aplicación de soporte. • Estadística descriptiva.	
	Análisis de las condiciones reales contra las planificadas para cuantificar el nivel de cumplimiento de la demanda.		
	Definición de las variables a estudiar.	• Análisis de sensibilidad.	• Capacidad de reacción del sistema integrado diseñado ante la variabilidad del entorno.
	Elaboración de un estudio de escenarios.	• Estadística descriptiva.	
	Medición de los indicadores propuestos con los datos generados por la planificación piloto.	• Procesos diseñados. • Indicadores de éxito. • Indicadores de desempeño.	• Proceso, procedimientos y puestos diseñados.
	Comparación de los resultados obtenidos en los indicadores a partir de planificación piloto y los resultados actuales de la organización.	• Panel de control. • Estadística descriptiva. • Análisis de brecha.	• Mejoras cuantificadas en los niveles de desempeño.

1.5. Cronograma de trabajo

El cronograma del trabajo mostrado en la Tabla 2 tiene como objetivo establecer el periodo de tiempo en el cual se propone ejecutar las actividades descritas en la metodología general para cada una de las fases de diagnóstico, diseño y validación.

Tabla 2

Cronograma de trabajo del proyecto

	Actividad	Inicio – Fin (semana)
Diagnóstico	Identificación de los procesos y productos que forman parte del sistema de planificación y control.	1 a 2
	Comparación de métodos contra buenas prácticas.	2 a 5
	Evaluar el origen de los desperdicios	4 a 6
	Análisis del error de pronóstico.	6 a 8
	Medición de la desviación en los tiempos de ejecución del proceso productivo.	8 a 9
	Análisis de la cantidad de volumen producido y de fuentes de desperdicio de materia prima.	9 a 10
	Análisis en los niveles de stock de producto terminado y cilindros vacíos.	10 a 11
	Evaluación de la pertinencia de los indicadores actualmente utilizados por la organización.	11 a 12
	Medición de nuevos indicadores por la literatura.	11 a 13
Diseño	Elaboración de los métodos para cada uno de los procesos y las relaciones.	13 a 17
	Reestructuración de los métodos documentados actuales de los procesos productivos	13 a 19
	Medición de los tiempos estándar de los procesos.	19 a 20
	Definición de la estructura general de la aplicación.	20 a 23
	Programación de cada módulo de trabajo.	23 a 25
	Elaboración del procedimiento de uso de la aplicación.	25 a 26
	Definición de métodos para medición de los indicadores.	26 a 27
	Definición de indicadores, responsables y la ejecución.	28 a 29
Creación de un panel de control para los indicadores.	29 a 30	
Validación	Ejecución del proceso de estimación de la demanda.	30 a 31
	Elaboración de un plan maestro de producción piloto.	31 a 32
	Ejecución de planificación de la capacidad operativa.	32 a 33
	Análisis de las condiciones reales contra las planificadas para cuantificar el nivel de cumplimiento de la demanda.	33 a 34
	Definición de las variables a estudiar.	34 a 35
	Elaboración de un estudio de escenarios.	35 a 36
	Medición de los indicadores propuestos con los datos generados por la planificación piloto.	36 a 37
	Comparación de los resultados obtenidos.	37 a 38

Capítulo 2. Diagnóstico

2.1. Objetivo general

Analizar los métodos y las técnicas empleadas en la planificación y control actual de la producción, capacidad e inventarios, mediante la caracterización e identificación de los procesos encargados de la ejecución, el cálculo de las tasas de productividad del recurso humano, materiales y equipo, con el fin de comprender el funcionamiento de dichos procesos en cuanto a eficiencia y capacidad, así como identificar requerimientos de intervención.

2.2. Objetivos específicos

1. Evaluar los métodos de trabajo de los procesos actuales que conforman el sistema de planificación de la producción, capacidad, inventarios y medición del desempeño, con el fin de identificar oportunidades de mejora.
2. Determinar las causas asociadas a los desperdicios de materia prima, inapropiado uso de los equipos y pago de horas extra en los procesos, con el fin de identificar los puntos débiles del sistema actual y corregirlos.
3. Medir el desempeño de los métodos de trabajo de los procesos actuales que conforman el sistema de planificación y control de la producción, capacidad e inventarios, con el fin de juzgar el impacto que tiene sobre la organización.

2.3. Metodología de trabajo

En la Tabla 3 se presenta la metodología a seguir con el fin de alcanzar cada uno de los objetivos específicos anteriormente planteados.

Tabla 3

Metodología de trabajo del diagnóstico

	Actividades	Herramientas	Producto esperado
Objetivo específico 1	Identificación de los procesos y productos que forman parte del sistema de planificación y control.	<ul style="list-style-type: none">• Entrevistas.• Análisis ABC.• Revisión documental.	<ul style="list-style-type: none">• Procesos y productos de interés identificados.
	Comparación de los métodos actuales de ejecución contra buenas prácticas.	<ul style="list-style-type: none">• Mapeo de procesos.• Observación directa.• Análisis de brechas.• Análisis de valor.• Entrevistas.• Listas de chequeo.• Revisión bibliográfica.	<ul style="list-style-type: none">• Porcentaje de buenas prácticas y el impacto.• Valor agregado de los métodos de ejecución actual y documentado.• Oportunidades de mejora.• Análisis crítico de la pertinencia del método de ejecución actual y el documentado.

Tabla 3

Metodología de trabajo del diagnóstico (continuación)

	Actividades	Herramientas	Producto esperado
Objetivo específico 2	Evaluar el origen de los desperdicios asociados al método de trabajo.	<ul style="list-style-type: none"> • Diagrama Ishikawa. • 5 porqués. • Revisión bibliográfica. • Entrevistas. • Observación directa. 	<ul style="list-style-type: none"> • Causas asociadas a los métodos de trabajo que impactan en la generación de desperdicios o están asociadas negativamente a la generación de valor.
	Análisis del error de pronóstico.	<ul style="list-style-type: none"> • Estadística descriptiva. • Estadísticos del error. • Entrevistas. • Revisión documental. • Estudio de desviaciones. • Gráficos de series de tiempo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Componentes, patrones de comportamiento y proyecciones de demanda y el impacto en la planificación agregada de la producción.
	Medición de la desviación en los tiempos de ejecución del proceso productivo.	<ul style="list-style-type: none"> • Estudio de tiempos. • Estadística descriptiva. • Observación directa. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tiempos de ejecución de los métodos de trabajo actuales y el impacto en la planificación de la capacidad.
	Análisis de la cantidad de volumen producido y de fuentes de desperdicio de materia prima.	<ul style="list-style-type: none"> • Estadística descriptiva. • Revisión documental. • Entrevistas. • Observación directa. • Gráficos de series de tiempo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Máximos y mínimos en los niveles de producción y el impacto. • Fuentes de desperdicio e impacto.
	Análisis en los niveles de stock de producto terminado y cilindros vacíos.	<ul style="list-style-type: none"> • Estadística descriptiva. • Revisión documental. • Entrevistas. • Observación directa. • Gráficos de series de tiempo. • Revisión bibliográfica. 	<ul style="list-style-type: none"> • Pertinencia del método actual de planificación de inventarios y las implicaciones a nivel operativo y financiero.
	Objetivo específico 3	Evaluación de la pertinencia de los indicadores actualmente utilizados por la organización.	<ul style="list-style-type: none"> • Revisión documental de indicadores. • Estudio de desviaciones. • Entrevistas. • Estadística descriptiva. • Revisión bibliográfica.
Medición de nuevos indicadores recomendados por la literatura.		<ul style="list-style-type: none"> • Estadística descriptiva. • Revisión bibliográfica. • Revisión documental. 	<ul style="list-style-type: none"> • Niveles de desempeño y el impacto.

2.4. Identificación de los procesos y productos bajo análisis

La organización actualmente cuenta con los procesos de estimación de la demanda, planificación de la capacidad, planificación de la producción, requerimiento de materiales, programación de la producción, seguimiento y control del desempeño, y planificación de los inventarios, que en conjunto permiten llevar a cabo las operaciones de la empresa. Se determina que estos procesos son pertinentes para llevar a cabo el análisis, debido a que:

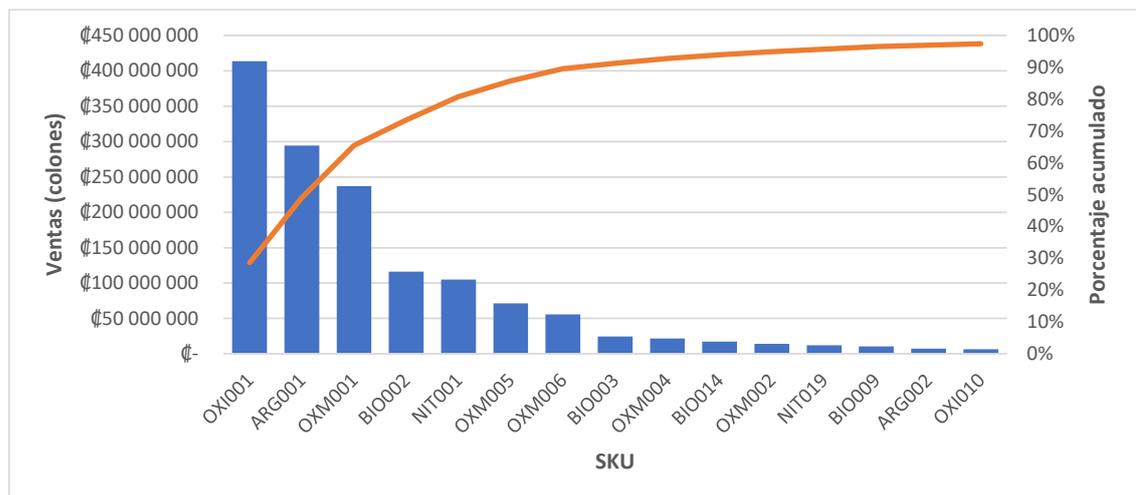
La planeación de la producción transforma los pronósticos de demanda en un plan maestro de producción, el cual toma en cuenta la disponibilidad de capacidad y materiales. La planeación detallada genera los requerimientos de materiales, capacidad y realiza una programación de la producción. Adicionalmente, la administración del inventario controla la materia prima, el trabajo en proceso y los bienes terminados. El seguimiento de la calidad incluye todos los componentes del sistema de producción (Sipper y Bulfin, 1998, pp. 17-18).

En la evaluación preliminar realizada, se encuentra que dichos procesos mantienen brechas al 100,0% de cumplimiento de buenas prácticas, los incumplimientos se consideran posibles oportunidades de mejora, por lo tanto, se procede a un análisis más robusto de cada uno de los procesos y el cumplimiento respecto a estándares teóricos. Esto se realiza con dos propósitos, primero evaluar la pertinencia de los métodos actuales, y segundo comprender el flujo de información y materiales.

En cuanto a la selección de los códigos de artículo (SKU), se utiliza la herramienta de análisis ABC basada en el principio de Pareto para ventas y margen de utilidad incluyendo todos los productos de la organización. En dicho análisis se determina que los gases se encuentran divididos en las tres categorías, por lo tanto, se procede a seleccionar una combinación de productos A, B y C, de tal manera que se abarque en el estudio todos los gases y se obtiene un total de 46. Las categorías de productos A y B se muestran en la Figura 1, el listado de productos C no se incluye con el fin de no afectar la visualización del gráfico, para mayor detalle, consultar el Apéndice 7.

Figura 1

Análisis ABC por ventas



A partir del análisis ABC realizado para los gases, se encuentra que la categoría A está compuesta por el 13,0% de la totalidad, B por el 20,0% y C por el 67,0%. El detalle de la distribución por tipo de gas se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4

Clasificación de SKU por tipo de producto

Proporción	13,0%	20,0%	67,0%
Tipo de producto	A	B	C
Argón	1	1	3
Dióxido de carbono	1	3	14
Nitrógeno	1	1	5
Oxígeno	3	4	9

2.5. Análisis de brechas entre método teórico y actual

Esta sección se compone de la descripción del método actual y los resultados obtenidos en los análisis de valor agregado y de brechas. Este último, se realiza con el fin de identificar oportunidades de mejora en los métodos de ejecución actuales. Por lo tanto, se procede a obtener el cumplimiento de buenas prácticas; estas se comprenden como requerimientos o tareas necesarias que deben formar parte de los procesos bajo análisis, con el fin de ser ejecutados adecuadamente.

En cuanto al análisis de valor, se comprende como actividad de valor agregado (AVA) aquella que genera valor a la empresa y que permite cumplir con el beneficio ofrecido al cliente, por otra parte, actividad de no valor agregado (NVA), la cual se puede clasificar en evitable o inevitable, no contribuye a satisfacer a los clientes externos ni internos, por lo tanto, pueden ser eliminadas o reducidas (Ushiña, 2006). Se analizan los métodos de ejecución actuales, mediante cursogramas analíticos a nivel 1, basados en la norma ISO 9000, para mayor detalle ver el Anexo 2; cuya estructura varía para realizar el análisis de agregación de valor.

2.5.1. Estimación de la demanda

La organización emplea un método empírico, el cual parte de segregar las ventas del año anterior por mes y por agente, este último se refiere al vendedor encargado de una zona específica que incluye una cantidad definida de clientes y permite visualizar el comportamiento de la demanda. Seguido, se excluyen las ventas que no se esperan repetir el siguiente año, con el propósito de utilizar los datos de ventas que se estiman llevar a cabo nuevamente.

Como tercer paso, la empresa obtiene la media mensual de las ventas por tipo de producto en volumen y valor económico. Además, se realiza un comparativo entre el año anterior y el año a pronosticar, con el fin de obtener los porcentajes de variación de volumen, cabe destacar que, este se calcula a partir de entrevistas a los clientes para conocer el futuro de las operaciones, mediante el análisis de parámetros como: Tendencias, clientes nuevos, ventas especiales, nuevos proyectos, metas anuales, entre otros.

Por otro lado, la media mensual de valor económico se utiliza para obtener el precio de venta promedio del año anterior, luego se emplea dicha estimación para pronosticar el

aumento que tendrá para el siguiente año, mediante la valoración de la información de los clientes y los nuevos proyectos que realizarán. Con estos porcentajes de variación, se obtiene el pronóstico por mes del siguiente año, tanto en volumen como en valor económico.

Al finalizar cada mes se comparan las ventas reales contra el comportamiento de la demanda del año anterior, donde se analiza la variación, todos los cálculos se llevan a cabo en hojas de cálculo de Excel. El método utilizado se observa en la Figura 2.

Figura 2

Método de ejecución actual del proceso de estimación de la demanda

Cursograma analítico											
Objeto: Método de ejecución actual del proceso de estimación de la demanda	Actividad	Actual	Propuesta		Economía						
		Operación	9								
	Inspección y Medición	0									
	Operación e Inspección	0									
	Transporte	0									
	Entrada de bienes	0									
	Almacenamiento	0									
Actividad: Estimación de la demanda Método: Actual	Total	9									
Descripción	Cantidad	Símbolo						AVA	NVA		Observaciones
		○	□	◐	⇒	▽	△		Evitable	Inevitable	
Segregar las ventas por mes.	NA	●						X			
Segregar las ventas por agente.	NA	●						X			
Excluir ventas puntuales.	NA	●						X			
Cálculo del volumen promedio de ventas mensuales.	NA	●							X		
Cálculo de los precios promedio.	NA	●							X		
Entrevistar a los clientes.	NA	●						X			
Cálculo del porcentaje de variación.	NA	●							X		
Cálculo del nuevo precio de venta.	NA	●							X		
Estimación de los valores de demanda.	NA	●						X			
Total	-	9	0	0	0	0	0	56%	44%	0%	

Al realizar el análisis de valor agregado, un 56,0% de las tareas se clasifican como AVA y un 44,0% como NVA evitable. Las cinco que agregan valor son: Segregar ventas por mes y por agente, excluir ventas puntuales, entrevistar a los clientes y estimación de los valores de demanda, debido a que son tareas pertinentes según los autores Chopra y Meindl (2008), Heizer y Render (2007) y Krajewski et al. (2008); sin embargo, se encuentra que estas pueden simplificarse con el uso de herramientas estadísticas que ayuden a: Detectar picos o ventas puntuales, medir el error de pronóstico y generar los valores de demanda automáticamente.

Por otra parte, las cuatro que no agregan valor y son evitables, corresponden a: Cálculo de volumen de ventas y precios promedio, estimación del porcentaje de variación y fijación del nuevo precio de venta. Estas son realizadas manualmente para la estimación actual del presupuesto, por lo que no serían necesarias con el uso de un modelo matemático o software.

Al analizar el porcentaje de buenas prácticas, el proceso incumple con: Estudiar el comportamiento de la demanda, utilizar un modelo ajustado al comportamiento y calcular el error de pronóstico. Además, cumplen las buenas prácticas de realizar una investigación del mercado y validar por criterio experto, una vez finalizado el análisis se obtiene un porcentaje de cumplimiento del 36,0%, un 27,0% de cumplimiento parcial y

37,0% de incumplimiento. Las listas de chequeo para este y los restantes procesos se muestran en el Apéndice 8.

2.5.2. Planificación de la capacidad

La empresa cuenta con un método empírico que se realiza simultáneamente con la planificación de la producción, el cual inicia cuando los operarios verifican que los cepos de cilindros llenos estén en la máxima capacidad, en caso contrario, se procede a revisar la cantidad de cilindros vacíos disponibles, si es suficiente para completar un banco, se agrega al listado de producción del día, y si es insuficiente, se consulta si durante la jornada van a ingresar cilindros vacíos para agregarlos al plan.

Para la planificación se desconocen los tiempos estándar de las tareas en el proceso productivo, se planifica con un tiempo de ciclo aproximado de 30 minutos (min) por banco de cilindros para O₂ y N₂ y de 40 min para Ar, en el caso del CO₂ no se cuenta con un aproximado. El tiempo de ciclo fue estimado a partir de la diferencia entre la hora de inicio y la hora final de producción; por lo que, este cálculo carece de representatividad estadística.

Para la asignación de los recursos de equipo se tiene definido que hay seis líneas de envasado, dos para O₂ y CO₂, y una para Ar y N₂; además, estas últimas pueden ser compartidas. La cantidad de operarios por línea se determina empíricamente, solamente se espera que la línea de envasado de O₂ tenga dos operarios, mientras que, Ar, N₂ y CO₂ un operario. Cabe destacar que, en algunas ocasiones se tienen tres operarios en la línea de O₂ cuando no se envasan los restantes productos. El método utilizado se observa en la Figura 3.

Figura 3

Método de ejecución actual del proceso de planificación de la capacidad

Cursograma analítico											
Objeto: Método de ejecución actual del proceso de planificación de la capacidad	Actividad	Actual	Propuesta				Economía				
	Operación		3								
Inspección y Medición		0									
Operación e Inspección		4									
Transporte		0									
Entrada de bienes		0									
Almacenamiento		0									
Actividad: Planificación de la capacidad Método: Actual											
Total		7									
Descripción	Cantidad	Símbolo						AVA	NVA		Observaciones
		○	□	●	◀	▽	△		Evitable	Inevitable	
Contar la cantidad de cilindros llenos.	NA			●					X		
Contar la cantidad de cilindros vacíos.	NA			●					X		
Anotar la cantidad de cilindros vacíos en la pizarra.	NA	●							X		
Verificar que la cantidad de cilindros vacíos completen un banco.	NA			●					X		
Consultar sobre el ingreso de cilindros vacíos durante la jornada.	NA			●					X		
Decidir cuáles líneas de llenado se utilizarán.	NA	●					X				
Asignar los operarios a las líneas.	NA	●					X				
Total	-	3	0	4	0	0	29%	71%	0%		

A partir de lo anterior, se obtiene un AVA de 29,0% y un NVA evitable de 71,0%. Del total de las actividades, solamente la asignación de los recursos de equipo y mano de obra agregan valor, debido a que, según los autores Gupta y Starr (2014), Heizer y

Render (2004) y Hopp y Spearman (2008), la planificación debe de asignar la carga a cada centro de trabajo que asegure cumplir con los requerimientos de capacidad.

Las tareas que no agregan valor y son evitables corresponden a: Contar la cantidad de cilindros vacíos y llenos, anotar en la pizarra estas cantidades, verificar que la cantidad de cilindros vacíos completen un banco y consultar sobre el ingreso de cilindros durante la jornada; se establece que son evitables porque se podrían reemplazar con el uso de un sistema informático para inventarios, que logre escanear los códigos de barra de cada cilindro al ingresar a la planta, cree un registro de la cantidad de cilindros vacíos disponibles y estime la cantidad de bancos que se puede llenar.

Al comparar contra lineamientos teóricos, se obtiene un incumplimiento del 91,0% y un cumplimiento parcial del 9,0% debido a que se conoce el tamaño de la fuerza laboral, los días trabajados anualmente y los requerimientos de mantenimiento de los equipos. Los hallazgos más importantes son: Se desconoce el tiempo estándar y la tasa de producción, además, no se mide la utilización ni se estudia la capacidad que se requiere a futuro.

Se cuenta solamente de manera documentada con los métodos de trabajo que describen los procesos operativos de llenado; sin embargo, según los operarios de producción extienden el tiempo de ciclo, por lo tanto, no los ejecutan. Se describen los métodos documentados y los actuales de ejecución para los procesos productivos.

2.5.2.1. Proceso de envasado de O₂

Se tiene un mismo procedimiento documentado para las líneas de O₂, N₂ y Ar y están conformados por trece tareas. El proceso de envasado se lleva a cabo en once tareas. Cabe destacar que, para este gas se cuenta con dos líneas de envasado y la ejecución varía según la cantidad de bancos que se llenen. Los cursogramas analíticos se presentan en la Figura 4.

Figura 4

Método documentado de envasado de O₂ contra método actual

Cursograma analítico: Método Documentado									Cursograma analítico: Método Actual												
Método: Documentado	Actividad		Actual						Método: Actual	Actividad		Actual									
	Operación	Inspección y Medición	Operación e Inspección	Transporte	Entrada de bienes	Almacenamiento	Total	Operación		Inspección y Medición	Operación e Inspección	Transporte	Entrada de bienes	Almacenamiento	Total						
Actividad: Envasado de O ₂ .			8	2	2	2	0	0	14			6	0	1	4	0	0	11			
Descripción	Cantidad	Símbolo						AVA	NVA		Descripción	Cantidad	Símbolo						AVA	NVA	
		○	□	◻	⇄	▽	△		E	I			○	□	◻	⇄	▽	△		E	I
Energizar bomba	NA	●							X		Traslado 1	2 unidades								X	
Etiquetado	1 unidad		●					X			Traslado 2	2 unidades								X	
Traslado	2 unidades			●					X		Traslado 3	2 unidades								X	
Cambio de estado y prueba hidrostática	1 unidad			●				X			Etiquetado	1 unidad						X			
Conectar cilindros	1 unidad	●							X		Venteo	Por banco	●					X			
Venteo	Por banco	●						X			Vacio	Por banco	●					X			
Vacio	Por banco	●						X			Prellenado	Por banco	●					X			
Prueba de martillo	1 unidad		●					X			Llenado	Por banco	●					X			
Prellenado	Por banco	●						X			Sellado	1 unidad	●					X			
Llenado	Por banco	●						X			Retiro	2 unidades	●							X	
Inspección de cilindros	1 unidad		●					X			Traslado 4	2 unidades								X	
Sellado	1 unidad	●						X													
Retiro	2 unidades			●					X												
Imprimir reporte de producción	NA	●							X												
Total	-	8	2	2	2	0	0	64%	0%	36%	Total	-	6	0	1	4	0	0	55%	9%	36%

a. Método de ejecución documentado del proceso de envasado de O₂

El proceso inicia con la tarea de energizar la bomba que permite que el gas dentro de los tanques de materia prima llegue hasta las líneas de producción, seguido, se debe llevar a cabo la verificación de las etiquetas que se encuentran adheridos en el cuello de los cilindros, se procede a trasladarlos al banco de llenado y se realiza el registro en el sistema mediante el escaneo del código. Después, se revisa la fecha de verificación de prueba hidrostática; que asegura que es apto para el uso y si dicha prueba se encuentra en el rango aceptable, se procede a realizar un segundo registro en el sistema para generar el reporte de producción.

En la siguiente tarea del proceso, los cilindros se conectan a los pigtails; los cuales corresponden a tubos que permiten el paso de la materia prima al cilindro, y se ajustan las válvulas de conexión. Con las válvulas ajustadas, se lleva a cabo el venteo de los cilindros, asegurando que no hay ningún residuo de producto que altere la cantidad a ingresar, para lo cual, primero se verifica que las válvulas de los cilindros estén cerradas, después se abre la llave de venteo en el panel de control y finalmente, se abren las válvulas de los cilindros.

Seguido, se procede a realizar el vacío, ingresando una presión negativa de -20 psi para que el cilindro expulse todo el contenido residual, cuando se finaliza, se cierra la llave correspondiente del panel de control. Como una verificación adicional, se lleva a cabo la prueba del martillo, la cual consiste en golpear los cilindros con una herramienta metálica y dependiendo del sonido se confirma que están en condiciones apropiadas para envasar.

La tarea de prellenado se conforma por cinco elementos, en primera instancia, se debe cerrar la válvula de alimentación de uno de los cilindros que se encuentren en el banco, con el fin de que este recolecte el residuo que quede en la línea al final del proceso de llenado. Seguido, en el panel de control se abre la llave de alta presión, se enfría la bomba en un rango de 10 min – 15 min y se abre la válvula que permite el paso del gas hacia la línea de llenado.

La etapa de llenado inicia cuando se enciende la bomba y comienza el aumento de presión dentro del cilindro, la cual debe alcanzar los 2000 psi. A los 750 psi y 1500 psi se realiza una prueba de fugas, los cilindros que presenten escapes se deben retirar del proceso de envasado y ser marcados como producto no conforme, adicional, se realiza la prueba de tacto a presiones mayores a 1000 psi, y si la temperatura aumenta, significa que se está llenando.

Una vez que los cilindros alcanzan la presión adecuada, se toma la temperatura, con el fin de determinar la presión correcta a la cual se debe llenar el banco, según la tabla presión-temperatura. Seguido, en caso de llenar un solo banco, se procede a apagar la bomba, cerrar todas las válvulas del panel y ventear la línea; con el fin de liberar la tubería de residuos, además, se deben cerrar las válvulas de los cilindros y abrir la válvula del envase destinado a la recuperación del material. Para finalizar, se deben soltar los pigtails de los cilindros llenos.

Seguido, se realiza la inspección final, la cual consiste en seleccionar una muestra de cilindros para medir la presión y pureza, si es satisfactoria se libera el lote de producción, en caso de no serlo, se aíslan los cilindros envasados y se evalúa uno por uno. En la

tarea de sellado se ejecuta la colocación de la etiqueta de lote, del sello de calidad sobre la válvula, de las tapas y se procede al retiro del banco, trasladándolos hacia el cepo de cilindros llenos. Si se llena más de un banco, se repite el proceso desde la verificación de las etiquetas hasta el retiro.

Finalmente, se anota en la hoja de control diario, el nivel del tanque de O₂ y se imprime el reporte de producción, el cual contiene la información necesaria para la trazabilidad. Los pasos descritos en este apartado se replican para el proceso documentado de N₂ y Ar.

b. Método de ejecución actual del proceso de envasado de O₂

El traslado 1 corresponde a acercar los primeros 24 cilindros al banco de llenado desde el cepo de cilindros vacíos; puede variar a 48 cilindros si se llena un segundo banco. El traslado 2 consiste en acercar los cilindros a los laterales de la línea de llenado y una vez ubicados se les debe retirar la tapa; este se ejecuta solamente si se envasan hasta cuatro bancos. El traslado 3 consiste en ubicar los cilindros al frente de la línea de llenado, se realiza solo si se envasa un quinto lote. Estos traslados se ejecutan antes de envasar el primer banco.

Seguido, se etiquetan todos los cilindros que se hayan trasladado y se generan copias de los códigos en mal estado, se imprimen y se traen desde la oficina de operarios para reemplazarlos. Con los códigos de barra en buen estado, se realiza el primer registro en el sistema, además como parte de la etapa de etiquetado, se imprime el reporte de producción y se cambia la etiqueta de lote de producción y de identificación. El venteo, vacío y prellenado son etapas que se ejecutan tal como el método documentado lo establece. Para el prellenado los operarios ejecutan la prueba de martillo.

El llenado inicia con el cierre de la válvula de uno de los cilindros para recolectar el residuo y después se enciende la bomba, la ejecución de esta tarea se debe realizar como el procedimiento documentado lo establece, sin embargo, no se realiza la toma de temperatura final. Una vez que los cilindros están llenos, se desconectan.

El sellado se ejecuta mediante la colocación del sello de calidad, este se calienta para ser adherido a la válvula del cilindro y se coloca la tapa, seguido, se ejecuta la tarea de retiro, en la cual se trasladan los cilindros hacia el cepo de producto terminado. Finalmente, se lleva a cabo el traslado 4, que corresponde a acercar los cilindros que se encuentran en el lateral del banco hacia la línea de llenado para iniciar nuevamente el proceso desde el venteo.

El proceso de llenado del primer banco difiere del segundo, ya que, solamente el primero incluye el acomodo de los cilindros a envasar y el prellenado. Del segundo banco en adelante, las actividades que componen el tiempo de ciclo son: Llenado, sellado y retiro, debido a que, las demás se realizan simultáneamente con el llenado de la otra línea de producción.

2.5.2.2. Proceso de envasado de N₂

El proceso de ejecución documentado se encuentra conformado por trece tareas, por otra parte, el proceso de envasado actual se compone de nueve tareas. La línea tiene una capacidad de 28 cilindros. Los cursogramas analíticos se observan en la Figura 5.

realiza el prellenado, llenado, sellado y retiro, los cuales se ejecutan de la misma forma que el O₂. Los cursogramas analíticos se observan en la Figura 6.

Figura 6

Método documentado de envasado de Ar contra método actual

Cursograma analítico: Método Documentado										Cursograma analítico: Método Actual											
Método: Documentado	Actividad		Actual							Método: Actual	Actividad		Actual								
	Operación	Inspección y Medición	8	2	2	2	2	0	0		Operación	Inspección y Medición	6	0	1	2	0	0	0		
Actividad: Envasado de Ar.	Transporte	Entrada de bienes	2	0	0	0	0	0	0	Actividad: Envasado de Ar.	Transporte	Entrada de bienes	2	0	0	0	0	0			
Total		14							Total		8										
Descripción	Cantidad	Símbolo						AVA	NVA		Descripción	Cantidad	Símbolo						AVA	NVA	
		○	□	◐	⇒	▽	△		E	I			○	□	◐	⇒	▽	△		E	I
Energizar bomba	NA	●							X		Traslado	2 unidades								X	
Etiquetado	1 unidad		●					X			Etiquetado	1 unidad							X		
Traslado	2 unidades									X	Barrido 1	Por banco	●						X		
Cambio de estado y prueba hidrostática	1 unidad							X			Barrido 2	Por banco	●						X		
Conectar cilindros	1 unidad	●								X	Barrido 3	Por banco	●						X		
Venteo	Por banco	●						X			Prellenado	Por banco	●						X		
Vacío	Por banco	●						X			Llenado	Por banco	●						X		
Prueba de martillo	1 unidad		●					X			Sellado	1 unidad	●						X		
Prellenado	Por banco	●						X			Retiro	2 unidades								X	
Llenado	Por banco	●						X													
Inspección de cilindros	1 unidad		●					X													
Sellado	1 unidad		●					X													
Retiro	2 unidades																				
Imprimir reporte de producción	NA	●							X												
Total	-	8	2	2	2	0	0	64%	0%	36%	Total	-	6	0	1	4	0	0	78%	0%	22%

2.5.2.4. Proceso de envasado de CO₂

Para este gas el procedimiento se realiza por cilindro y se ejecutan en pares, debido a que se tienen dos líneas de alimentación, a diferencia de los demás gases que se envasan por banco. Se tienen dos presentaciones, con y sin sifón; este elemento es un tubo interno dentro del cilindro el cual podría almacenar material, por lo tanto, el método de ejecución varía, además, el tiempo de ciclo depende de la cantidad de envases a llenar.

a. Método de ejecución documentado del proceso de envasado de CO₂

El procedimiento inicia con el cálculo de la cantidad de kg de producto que debe ser ingresado en el cilindro, acorde al tamaño y capacidad. Para la generación del reporte de producción, se registra en el sistema el número de unidades a llenar y el nivel inicial del tanque. Seguido, se realiza el etiquetado de los cilindros y se energiza la bomba.

Durante la tarea de prellenado, se procede a abrir las válvulas del tanque, verificar que la bomba este energizada y encenderla, seguido, el operario acerca los cilindros inspeccionados, en pares a la línea de producción y los coloca en las romanas. La tarea de llenado inicia conectando los cilindros y tarando las balanzas, luego, se abre una de las válvulas de llenado, encargada de dar paso al producto.

Cuando se llega al peso indicado, se debe cerrar la llave de llenado, abrir la de retorno y cerrar la válvula del cilindro. Seguido, se abre la válvula de venteo y se realiza un segundo cambio en el sistema. Cuando se cierra la válvula de la izquierda, se abre la de la derecha para iniciar con el ingreso de gas al segundo cilindro, para lo cual, se

repite el proceso. Una vez envasado todo el lote de producción, se deben cerrar las válvulas y ventear la tubería.

El analista debe realizar la inspección final para verificar que el lote de producción puede ser liberado. Si el resultado es satisfactorio, se procede a la etapa de retiro, que consiste en colocar el sello de calidad, colocar las tapas y retirar los cilindros. Finalmente, se procede a registrar el nivel final del tanque de materia prima. El cursograma analítico del proceso documentado se presenta en la Figura 7.

Figura 7

Método documentado de envasado de CO₂

Cursograma analítico: Método Documentado										
Método: Documentado	Actividad	Actual	Propuesta							
		Operación	6	-						
	Inspección y Medición	1								
	Operación e Inspección	1								
	Transporte	1								
Actividad: Envasado de CO ₂ .	Entrada de bienes	0	-							
	Almacenamiento	0								
	Total	9								
Descripción	Cantidad	Símbolo					AVA	NVA		
		○	□	◐	⇒	▽		△	E	I
Calcular cantidad de Kg a llenar	1 unidad	●						X		
Imprimir reporte de producción	N/A	●							X	
Etiquetado	1 unidad			●			X			
Energizar bomba	N/A	●							X	
Prellenado	2 unidades	●					X			
Llenado	1 unidad	●					X			
Inspección de cilindros	1 unidad			●			X			
Retiro	2 unidades					●			X	
Anotar nivel final del tanque	N/A	●							X	
Total		6	1	1	1	0	0	44%	11%	44%

b. Método de ejecución actual del proceso de envasado de CO₂

A los cilindros que cuentan con sifón, se les realiza un venteo en la parte exterior, lo que ocasiona que sea necesario el traslado 2 y 3 y cuando los envases han liberado el contenido, se trasladan hacia el área de llenado de CO₂. Por otro lado, los envases sin sifón son trasladados directamente a la línea de envasado. El traslado de los cilindros se hace en pares.

Trasladados los cilindros, se revisan las etiquetas y se reemplazan las necesarias, los operarios deben trasladarse hasta la oficina para obtenerlas. Luego, se realiza el enfriamiento de la bomba; mientras se enfría, se conectan dos cilindros a las líneas y se ajusta la válvula.

Como primer elemento del llenado, se realiza la prueba de fugas, seguido, se tara la balanza y se abre la llave de alimentación que permite el ingreso de materia prima al cilindro, cuando se llega al peso indicado, el operario ejecuta el cambio de línea para iniciar el llenado del siguiente cilindro ubicado en la segunda línea de envasado. Mientras el segundo se llena, el operario desconecta el primer cilindro, lo retira de la tarima y le coloca el sello de calidad. Una vez lleno el segundo cilindro, se repite el proceso. Finalmente, una vez se encuentren todos llenos, se procede a retirarlos hacia

el cepo de producto terminado. El cursograma analítico del proceso actual se presenta en la Figura 8.

Figura 8

Método actual de envasado de CO₂

Cursograma analítico: Método Actual																	
Método: Actual	Actividad	Actual					Actual					Propuesta					
	Actividad: Envasado de CO ₂	Operación	4						2						-		
Inspección y Medición		0						0									
Operación e Inspección		1						1									
Transporte		2						2									
Entrada de bienes		0						0									
Almacenamiento		0						0									
	Total	7						5						-			
Descripción	Cantidad	Símbolo (con sifón)					Símbolo (sin sifón)					AVA	NVA				
		○	□	◐	⇒	▽	△	○	□	◐	⇒		▽	△	E	I	
Traslado 1	2 unidades																X
Traslado 2	2 unidades	●															X
Venteo	1 unidad	●											X				
Traslado 3	1 unidad				●												X
Etiquetado	1 unidad			●									X				
Prellenado	1 unidad	●						●					X				
Llenado	1 unidad	●						●					X				
Retiro	1 unidad				●						●						X
Total		4	0	1	2	0	0	2	0	1	2	0	0	50%	0%	50%	

2.5.2.5. *Análisis de valor agregado para métodos documentados y actuales*

A partir de la descripción de los métodos de los procesos productivos actuales, se procede a realizar un análisis de valor agregado, tanto para el método actual como para el documentado. Los resultados se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5

Análisis de valor agregado métodos documentados y ejecutados

Método	Producto	AVA (%)	NVA (%)	
			Evitable	Inevitable
Documentado	Argón			
	Oxígeno	64	0	36
	Nitrógeno			
	Dióxido de carbono	44	11	44
Ejecutado	Argón	78	0	22
	Oxígeno	55	9	36
	Nitrógeno	75	0	25
	Dióxido de carbono	50	0	50

En cuanto a los métodos documentados, se encuentra que, las NVA inevitables corresponden principalmente a traslados y la generación de reportes, por otra parte, para el CO₂, se encuentra como NVA evitable el cálculo de la cantidad de kg a envasar,

debido a que, actualmente los cilindros ya tienen la capacidad definida. En los métodos ejecutados, solamente se encuentre como NVA evitable el traslado 3 en el O₂, debido a que, consiste en acomodar los cilindros dentro del cepo y la distancia recorrida no es significativa. Por otro lado, las NVA inevitables corresponden únicamente a traslados.

2.5.2.6. Análisis de brechas para métodos documentados y actuales

Una vez comprendido que los métodos de ejecución actual difieren de los documentados, se procede a realizar un análisis de brechas contra un estándar de proceso productivo obtenido desde la casa matriz de la organización. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6

Análisis de brechas métodos documentados y ejecutados

Método	Producto	Cumplimiento		
		Sí (%)	No (%)	Parcial (%)
Documentado	Argón	100	0	0
	Dióxido de carbono	80	20	0
	Nitrógeno	100	0	0
	Oxígeno	95	5	0
Ejecutado	Argón	95	0	5
	Dióxido de carbono	80	13	7
	Nitrógeno	95	0	5
	Oxígeno	95	0	5

El cumplimiento parcial se da debido a que la inspección previa se basa en verificar la prueba hidrostática y el estado físico del cilindro, mientras que el estándar indica que se debe ejecutar una prueba de olfato, prueba de martillo, limpiezas profundas en las válvulas, entre otros. En el método documentado del O₂ incumple en la especificación de los pasos a seguir para la ejecución del cambio de línea, debido a que se cuenta con dos bancos de llenado. Respecto al incumplimiento en el CO₂ se da debido a que el método documentado actual no contempla la prueba de detección de fugas.

En cuanto a las tareas ejecutadas tanto en el método actual y el estándar se procede a evaluar si son realizadas de manera adecuada. En este caso, el método documentado de la organización no se evalúa debido a que se desconoce este a nivel de elementos y no es posible realizar la comparación. Inicialmente, se identifica que las tareas de: Se enfrían las bombas, se acercan los cilindros inspeccionados al banco, se revisan las etiquetas, se ajustan las conexiones, se realiza el venteo y vacío, podrían presentar oportunidades de mejora.

La tarea de enfriar las bombas podría ser mejorada mediante la definición de un tiempo máximo de ejecución, ya que en la actualidad se inicia y teóricamente debe esperar 10 min - 15 min para iniciar el llenado, sin embargo, los operarios, por atender otras actividades, en algunas ocasiones extienden este tiempo.

Seguido, se identifica que el traslado de los cilindros al banco es ejecutado en pares y de manera manual, los operarios no utilizan un instrumento de traslado como una carretilla, lo cual se determina que podría disminuir el tiempo de ejecución de la tarea.

Al evaluar esta oportunidad se encuentra que no es la manera más adecuada de ejecución ya que, el espacio entre cepos de cilindros y bancos es reducido, por lo que se dificulta la maniobra.

En cuanto a la revisión de las etiquetas, la oportunidad de mejora se identifica en realizar el cambio de estado de los cilindros a vacío una vez que llegan a la planta y no en el momento del llenado. En la tarea de apretar las conexiones, se identifica que se cuenta con una sola llave para las seis líneas de producción, lo cual ocasiona constantes traslados de los operarios de un extremo de la planta al otro, este desplazamiento se podría eliminar teniendo una llave para cada una.

Finalmente, para el venteo y el vacío se identifica una oportunidad de mejora similar a la del enfriamiento de la bomba, ya que los operarios descuidan la tarea y el tiempo de ejecución se extiende, al medir el impacto de esto, se obtiene que las tareas presentan una desviación respecto al promedio de 39,9% y 46,3% respectivamente.

2.5.2.7. Análisis de diferencias para métodos documentados y actuales

Se encuentra que, tanto el método documentado como el de ejecución actual para todos los productos, mantienen porcentajes de cumplimiento similares, este comportamiento se debe a que ambos cumplen con lo que indica el estándar y se infiere que, la problemática podría radicar en el orden de ejecución o las diferencias entre ambos métodos. A partir de lo anterior, no es posible definir cual método debería ejecutar la organización, por lo tanto, se procede a compararlos entre sí y determinar la implicación de las diferencias en el proceso productivo. Los principales hallazgos se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7

Diferencias en los métodos documentados y ejecutados

Producto	Método documentado	Método ejecutado
O ₂		<ul style="list-style-type: none"> • 11 tareas. • 45,0% traslados. • 9,0% inspecciones. • 46,0% operaciones.
N ₂	<ul style="list-style-type: none"> • 14 tareas. • 14,0% traslados. • 28,0% inspecciones. • 58,0% operaciones. 	<ul style="list-style-type: none"> • 8 tareas. • 25,0% traslados. • 12,5% inspecciones. • 62,5% operaciones.
Ar		<ul style="list-style-type: none"> • 9 tareas. • 22,0% traslados. • 11,0% inspecciones. • 67,0% operaciones.
CO ₂	<ul style="list-style-type: none"> • 9 tareas. • 11,0% traslados. • 22,0% inspecciones. • 67,0% operaciones. 	<ul style="list-style-type: none"> • 10 tareas. • 30,0% traslados. • 10,0% inspecciones. • 60,0% operaciones.

En cuanto al O₂ el método de ejecución actual se compone de un mayor porcentaje de traslados, esto se da debido a que el método documentado se encuentra descrito para

el envasado de un solo banco, situación que, no sucede comúnmente en la empresa, ya que, con el fin de evitar los excesos de merma, la organización opta por llenar mínimo dos bancos.

La cantidad de tareas es superior en el método documentado, debido a que el orden de ejecución actual agrupa algunas de estas, y permite considerarlas como una sola tarea; por ejemplo, el cambio de estado y la prueba hidrostática, realmente se ejecutan durante los traslados e imprimir reporte de producción, se realiza con el prellenado.

Con respecto al Ar, es el producto que mayor aumento en el porcentaje de operaciones presenta, esto se debe a que el método documentado no considera los tres barridos descritos en el método actual, los cuales son indispensables para llevar a cabo el proceso de llenado; y la empresa mantiene el mismo método documentado para los productos de O₂, N₂ y Ar.

En el caso del CO₂, el método documentado inicia con la tarea del cálculo de kg a llenar, lo cual no se ejecuta actualmente, además, un aspecto de importancia es que no describe la tarea de venteo y debido a esto se observa un aumento de traslados en el método de ejecución actual. En este método del mismo modo se evidencia que el orden de la ejecución de las tareas varía y ocasiona que, algunas pasen a ser elementos.

Además, se encuentran diferencias que aplican de manera general para todos los métodos, en primera instancia, que la tarea inspección de cilindros no se ejecuta, excepto en los productos de O₂ médico, ni tampoco la prueba de martillo. Otro aspecto por destacar es que, dentro de los métodos de ejecución actuales se encuentran diferencias en el orden que se lleva a cabo dependiendo del operario que lo realice y de la cantidad de bancos a llenar.

2.5.3. Planificación de la producción

La empresa mantiene un método empírico para generar el plan de producción, el proceso se ejecuta simultáneamente con la planificación de la capacidad, por lo tanto, se siguen los mismos pasos. Además, en el caso del O₂ se tiene definido llenar más de dos bancos, y para los restantes productos, un banco.

El método actual no contempla los pedidos en firme ni los pronósticos, para generar el plan se considera que los cepos permanezcan llenos y que la cantidad de cilindros vacíos que quedan sin envasar sea mínima, no llenar bancos incompletos; ya que la merma generada es la misma que cuando se llena más de un banco, y encender la bomba solo una vez al día, con el fin de disminuir los costos energéticos. El método utilizado se observa en la Figura 9.

Figura 9

Método de ejecución actual del proceso de planificación de la producción

Cursograma analítico											
Objeto: Método de ejecución actual del proceso de planificación de la producción	Actividad	Actual						Propuesta		Economía	
	Actividad: Planificación de la producción Método: Actual	Operación	2								
Inspección y Medición		0									
Operación e Inspección		4									
Transporte		0									
Entrada de bienes		0									
Almacenamiento		0									
Total		6									
Descripción	Cantidad	Símbolo						AVA	NVA		Observaciones
		○	□	◻	⇨	▽	△		Evitable	Inevitable	
Contar la cantidad de cilindros llenos.	NA			●				X			
Contar la cantidad de cilindros vacíos.	NA			●				X			
Anotar la cantidad de cilindros vacíos en la pizarra.	NA	●							X		
Verificar que la cantidad de cilindros vacíos completen un banco.	NA			●					X		
Consultar sobre el ingreso de cilindros vacíos durante la jornada.	NA			●					X		
Anotar los productos al plan de producción del día.	NA	●						X			
Total	-	2	0	4	0	0	0	50%	50%	0%	

En el análisis de valor agregado, se obtiene un AVA de 50,0% y un NVA evitable de 50,0%, las actividades que agregan valor identificadas corresponden a: Contar la cantidad de cilindros vacíos y llenos, y anotar los productos al plan de producción del día, esto debido a que se alinean con lo dictado por la teoría establecida por los autores Hopp y Spearman (2008).

Con respecto a las tareas que agregan valor, podrían ser mejoradas con el registro en el sistema de los cilindros vacíos mediante el escaneo de los códigos de barra cuando son ingresados a la planta, así como tener a disposición el inventario de la cantidad de envases vacíos y llenos disponibles. Las tareas que no agregan valor y son evitables serían eliminadas con la aplicación del método anterior, ya que, en el mismo sistema se podría conocer la cantidad de bancos que se completan y el establecimiento de un MPS.

Al evaluar las buenas prácticas se obtiene un porcentaje de cumplimiento del 13,0%, de incumplimiento del 74,0% y de cumplimiento parcial del 13,0%. Los hallazgos más importantes corresponden a: No se realiza un plan agregado ni un plan maestro de producción derivado del primero, además, el método empírico que actualmente ejecutan para la planificación de la producción no toma en consideración factores como el número de productos, el patrón de demanda, tiempo extra, inventario, capacidad, entre otros.

Un aspecto por destacar es que, al finalizar de envasar, si se determina que con la cantidad existente no logra suplir con los pedidos en firme, se procede a esperar que ingresen cilindros vacíos para llenar nuevamente, aunque esto implique el pago de horas extra y viáticos. De la misma manera, como se menciona anteriormente, se tiene definido no llenar bancos incompletos, sin embargo, si los cilindros llenos no superan los pedidos, se procede a envasar.

2.5.4. Requerimiento de materiales

El método de ejecución del proceso de requerimiento de materia prima se realiza a partir del análisis de tres variables de importancia: Consumo diario, nivel actual de los tanques

de materia prima y cantidad de días en tránsito de la pipa, en la cual se transporta el gas; los niveles de dichas variables se registran en el reporte diario de producción.

El proceso se realiza de manera empírica y por conocimiento experto, se calcula la cantidad de materia prima que se consume diariamente, incluyendo los desperdicios, esto lo realiza verificando el nivel inicial y final del tanque por tanda de producción. A partir de un promedio de consumo diario, se estima el día que el contenedor de almacenamiento se encontraría en el nivel mínimo requerido, el cual es de 50,0% para O₂ y 40,0% para los demás productos.

Seguido, se calculan los días previos a obtener el nivel mínimo, estos son necesarios para realizar el pedido de materia prima. Este considera los días en tránsito con el fin de no infringir el nivel requerido en el tanque; es decir, si los días en tránsito corresponden a tres y el nivel mínimo se alcanza el día quince del mes, se realiza el pedido el día doce.

Algunos aspectos por destacar corresponden a que el reporte de los pedidos semanales realizados se gestiona en un libro de Excel. Se tiene un estimado de pedidos a seis semanas, el cual se realiza con los niveles de tanques actuales y al consumo diario obtenido de los reportes de producción, este pronóstico se realiza a criterio experto. En cuanto al requerimiento de materiales de producción, no se tiene establecido un método que permita la ejecución, actualmente se realizan los pedidos con criterio experto y no se tiene registros o control de materiales como sellos o cilindros. El método utilizado se observa en la Figura 10.

Figura 10

Método de ejecución actual del proceso de requerimiento de materiales

Cursograma analítico										
Objeto: Método de ejecución actual del proceso de requerimiento de materiales	Actividad	Actual	Propuesta					Economía		
	Operación	8								
	Inspección y Medición	0								
	Operación e Inspección	0								
	Transporte	0								
Actividad: Requerimiento de Materiales Método: Actual	Entrada de bienes	0								
	Almacenamiento	0								
	Total	8								
Descripción	Cantidad	Símbolo					AVA	NVA		Observaciones
		○	□	◻	⇒	▽	△	Evitable	Inevitable	
Estimación del consumo diario de materia prima.	NA	●						X		
Estimación de la cantidad de desperdicios diarios.	NA	●						X		
Ajuste del consumo diario de materia prima.	NA	●						X		
Estimación de los días necesarios para alcanzar el nivel mínimo del tanque.	NA	●						X		
Cálculo de los días necesarios para cubrir la necesidad del tanque.	NA	●						X		
Realizar el pedido.	NA	●						X		
Registrar los datos en el archivo de Excel.	NA	●							X	
Actualizar la estimación de pedidos futuros.	NA	●						X		
Total	-	8	0	0	0	0	0	75%	13%	13%

El método incluye un 75,0% de AVA, un 13,0% de NVA evitable y 13,0% de NVA inevitable. Las actividades de no valor agregado se determinan de dicha forma ya que no contribuyen directamente a la ejecución adecuada del proceso según los autores Chase et al. (2009), Cruz (2017), Heizer y Render (2007), Krajewski et al. (2008) y Stadtler et al. (2015).

Las tareas que agregan valor podrían mejorarse con la aplicación de herramientas como MPS y estimar los puntos de reorden con pronósticos. Por otra parte, el registro de datos y cálculos manuales en un archivo de Excel podría evitarse mediante el uso de un reporte programado.

De acuerdo con la revisión literaria, el proceso debe de tener como principales entradas: La planeación de la producción, la lista de materiales y el estado de inventario. Sin embargo, a partir de la descripción del método, se determina que no cumple con estas variables, además, se consideran otras buenas prácticas actualizar el requerimiento con los ajustes realizados al MPS, conocer el punto de reorden, lead time y desperdicios, se obtiene un porcentaje de cumplimiento del 25,0%, de incumplimiento del 50,0% y de cumplimiento parcial del 25,0%.

2.5.5. Programación de la producción

Este proceso se ejecuta empíricamente, carece de una ruta de fabricación que establezca la secuencia a seguir para cumplir con los requerimientos de producción. Para realizarse requiere de la experiencia de los operarios con apoyo de parámetros que ayuden a priorizar el orden de llenado, varía de acuerdo con la necesidad identificada y busca siempre mantener cilindros llenos, este no se documenta, los operarios deciden la secuencia y la ejecutan de inmediato. Los parámetros para definir el orden de producción durante la jornada son:

- Agrupar la mayor cantidad de bancos que se puedan llenar en una tanda.
- Procurar encender cada bomba de gas solo una vez por día.
- Se da prioridad al llenado de O₂, seguido al N₂ y Ar, y por último al CO₂.

Este método podría sufrir variaciones por atrasos en el transporte de las pipas hacia la planta, provocando la falta de materia prima y el adelanto del llenado de los otros gases; y por la falta de cilindros vacíos, ya que se debe esperar hasta que los camiones que recogen los envases regresen a la planta para llenar. El método utilizado se observa en la Figura 11.

Figura 11

Método de ejecución actual programación de la producción

Cursograma analítico											
Objeto: Método de ejecución actual del proceso de programación de la producción	Actividad	Actual	Propuesta				Economía				
	Operación	2									
Inspección y Medición	2										
Operación e Inspección	0										
Transporte	0										
Entrada de bienes	0										
Almacenamiento	0										
Actividad: Programación de la producción Método: Actual	Total	4									
Descripción	Cantidad	Símbolo						AVA	NVA		Observaciones
		○	□	◻	⇒	▽	△		Evitable	Inevitable	
Verificar cuáles gases se van a producir durante la jornada.	NA	●								X	
Verificar la existencia de pedidos de hospitales.	NA	●								X	Por obligatoriedad se deben programar para el mismo día.
Utilizar parámetros para priorizar entre los gases.	NA	●					X				
Establecer la secuencia de llenado.	NA	●					X				
Total	-	2	2	0	0	0	0	50%	0%	50%	

Al realizar el análisis de valor agregado, se obtiene un 50,0% AVA y 50,0% NVA inevitable. Las que agregan valor corresponden a: Utilizar parámetros para priorizar entre los gases y establecer la secuencia de llenado, que según los autores Chase et al. (2009) y Heizer y Render (2008) son necesarias para definir la ruta de fabricación. Estas tareas no siguen ningún criterio de programación, por lo que se debe definir el objetivo y los parámetros. Las tareas que no agregan valor se califican como inevitables, ya que son necesarias para obtener la información respecto a los gases que se van a programar durante la jornada.

Al evaluar los lineamientos con los que debe de cumplir este proceso, se obtiene un cumplimiento del 14,0% y un incumplimiento del 86,0%. De esta evaluación se destaca que, se desconoce la capacidad de los procesos, la cual es un insumo indispensable para realizar la secuencia, además, no se realiza la programación bajo ninguna técnica o método.

Se desconoce el tiempo estándar de las actividades productivas, por lo que a base de la experiencia de los operarios se decide lo que se producirá para esa jornada de trabajo en específico. Se utilizan estimaciones de la duración para definir el orden, propiciando desviaciones en el tiempo estimado por actividad; la secuencia generada no incluye parámetros de tiempo, únicamente cantidad y orden.

2.5.6. Seguimiento y control del desempeño

El proceso de medición del desempeño se basa en la medición de tres indicadores clave: Nivel de servicio, número de quejas y mermas. Las métricas se miden mensualmente mediante la recolección de los datos, en la mayoría se mantienen metas de cumplimiento, posteriormente, se calculan los indicadores y se generan reportes con los resultados obtenidos. El método utilizado se observa en la Figura 12.

Figura 12

Método de ejecución actual del proceso de control del desempeño

Cursograma analítico											
Objeto: Método de ejecución actual del proceso de seguimiento y control del desempeño.	Actividad	Actual	Propuesta			Economía					
		Operación	4								
	Inspección y Medición	0									
	Operación e Inspección	2									
	Transporte	0									
	Entrada de bienes	0									
	Almacenamiento	0									
Actividad: Seguimiento y control del desempeño. Método: Actual	Total	6									
Descripción	Cantidad	Símbolo						AVA	NVA		Observaciones
		○	□	◐	◑	▽	△		Evitable	Inevitable	
Registro de los datos.	NA	●						X			
Revisión de los reportes.	NA	●								X	
Extracción de los datos mensuales.	NA	●	●					X			
Cálculo de los indicadores.	NA	●						X			
Registro de los resultados.	NA	●						X			
Análisis del cumplimiento.	NA	●	●					X			
Total	-	4	0	2	0	0	0	80%	0%	20%	

A continuación, se explica cada indicador:

- El nivel de servicio es medido a partir de los pedidos despachados entre la cantidad de pedidos ingresados al sistema, actualmente la meta es del 99,0%.
- El número de quejas se mide mediante reportes generados por los clientes, en este indicador se mantiene una meta de cero quejas mensuales.

- c. Las mermas se miden mediante la división del producto total envasado entre el esperado a envasar. Se mantienen metas de cumplimiento para cada uno, las cuales son de 1,0% para CO₂ y O₂, 15,0% para N₂ y 10,0% para Ar.

Mediante el análisis de valor agregado, se obtiene un 80,0% de AVA y un 20,0% de NVA no evitable, ya que, la revisión de los reportes es necesaria para obtener los insumos que permiten los cálculos. El proceso actual se conforma por seis tareas que siguen los lineamientos de cómo se debe realizar la medición del desempeño según autores como Chapman (2006), Krajewski et al. (2008), Prado et al. (2020) y Gupta y Starr (2014).

Al analizar las tareas que no agregan valor y son inevitables, se encuentra que la revisión de los reportes podría eliminarse mediante el registro de los datos de manera que permita el análisis una vez sea necesario ejecutarlo, además, las tareas que agregan valor podrían realizarse mediante reportes programados, el uso de estadística descriptiva y gráficos pertinentes para la generación de los resultados y el análisis del cumplimiento.

Además, se han identificado ocho lineamientos básicos para la ejecución adecuada de este proceso, entre los cuales destacan: La definición de múltiples variables de medición, recaudación de información, tener una planificación establecida, mantener estándares, medir productividad, eficiencia y eficacia, evaluar el cumplimiento y aplicación de acciones. La organización mantiene actualmente un porcentaje de cumplimiento del 14,0%, de incumplimiento del 43,0% y de cumplimiento parcial del 43,0%.

Se determina que el método actualmente utilizado, cumple con algunos de los pasos establecidos por la literatura, sin embargo, se encuentra que el proceso se debe mejorar mediante la medición de indicadores como productividad y eficiencia, y la toma de acciones a partir de los resultados obtenidos, debido a que actualmente no se considera, ya que con las métricas medidas no se toman decisiones a nivel productivo.

2.5.7. Planificación de los inventarios

Se realiza de manera empírica, a criterio experto y no se mantiene documentado. La empresa actualmente mantiene control de tres variables: Inventario de cilindros vacíos, de cilindros llenos y de materiales; en este último, se mantiene un IS para las etiquetas y sellos, este se basa únicamente a partir del tiempo de entrega del proveedor; además, se mantiene en el sistema el inventario de existencias y se revisa semanalmente.

En cuanto al inventario de cilindros llenos, se genera un reporte en un libro de Excel, para lo cual, el encargado de esta tarea realiza un conteo mensual de la cantidad de cilindros en la planta, luego realiza un comparativo con los envases en el sistema, y en caso de no coincidir, se debe justificar. Con respecto al inventario de cilindros vacíos, también se ejecuta un conteo mensual para compararlo con las existencias de vacíos del mes anterior.

La planificación se gestiona en un libro de Excel, en el cual se mantiene documentado la cantidad de cilindros en la planta de producción, en el exterior, en dotación, en préstamo, en disminución o recuperación y de baja; la diferencia de envases debe ser justificada. El método utilizado se observa en la Figura 13.

Figura 13

Método de ejecución actual de planificación de los inventarios

Cursograma analítico											
Objeto: Método de ejecución actual del proceso de planificación de los inventarios	Actividad	Actual						Propuesta		Economía	
		Operación	2								
	Inspección y Medición	0									
	Operación e Inspección	6									
	Transporte	0						-		-	
	Entrada de bienes	0									
	Almacenamiento	0									
Actividad: Planificación de los inventarios Método: Actual	Total	8						-		-	
Descripción	Cantidad	Símbolo						AVA	NVA		Observaciones
		○	□	●	⇒	▽	△		Evitable	Inevitable	
Revisar la cantidad de materiales en stock.	NA			●				X			
Verificar que la cantidad materiales cumplan con el IS.				●				X			
Contar la cantidad de cilindros llenos en la planta.	NA			●				X			
Contar la cantidad de cilindros vacíos en la planta y otras áreas.	NA			●				X			
Generar los reportes de los cilindros vacíos y llenos.	NA	●								X	
Comparar los cilindros reportados contra las existencias en el sistema.	NA			●				X			
Justificar las diferencias en existencias.	NA			●						X	
Generar el reporte de inventarios.	NA	●						X			
Total	-	2	0	6	0	0	0	75%	0%	25%	

A partir de lo descrito, se obtiene un 75,0% de AVA y un 25,0% de NVA inevitable, las actividades que agregan valor corresponden a revisar la cantidad de materiales en stock y verificar que cumplan el IS, contar la cantidad de cilindros vacíos y llenos, realizar las debidas comparaciones en el sistema y generar el reporte, con el fin de conocer las cantidades de inventarios disponibles. Esto definido según los autores Ballou (2004), Chase et al. (2009), Cruz (2017), Gómez y Brito (2020), Heizer y Render (2008), Krajewski et al. (2008) y Prado et al. (2020).

Las actividades que agregan valor y las que no agregan valor y son inevitables, podrían ser transformadas según Krajewski et al. (2008) mediante el uso de algún método para la precisión de los registros de inventarios, por ejemplo, sistemas computarizados. Esto con el fin de que los encargados no realicen de manera manual los cálculos y que los reportes sean más verídicos, manteniendo el control de donde se encuentran las existencias que no están en la planta de producción.

Al evaluar las buenas prácticas definidas por los autores, se obtiene un porcentaje de cumplimiento del 42,0%, de incumplimiento del 47,0% y de cumplimiento parcial del 11,0%. Los hallazgos más importantes corresponden a: No se conoce la cantidad óptima a pedir, almacenar y manipular que hace mínimos los costes totales, no utilizan ningún método de reabastecimiento de inventarios que considere condiciones de demanda y tiempo de entrega, además, no calculan costos relacionado a los inventarios, entre otros.

Cabe destacar que, la organización desconoce todos los costos relacionados a los inventarios, además, no se mantiene definido un inventario de seguridad para cada producto, la única métrica definida corresponde a no tener cilindros vacíos en la planta de producción; es decir, mantener el cepo de cilindros envasados en la máxima capacidad.

2.6. Origen de los desperdicios asociados al método de trabajo

En esta sección se realiza una evaluación de los métodos de trabajo descritos en la subsección 2.5, con el fin de identificar causas que impactan en la generación de desperdicios o están asociadas negativamente a la generación de valor. Se elabora un diagrama de causa – efecto por cada uno de los procesos que conforman el sistema de planificación y control de la empresa actualmente.

Los diagramas se componen de tres elementos: La cabeza, en la cual se coloca el efecto que se busca analizar, en este caso, se debe comprender que incluye desperdicios como horas extra, inapropiado uso de los equipos, materia prima, mano de obra, reprocesos, entre otros. El segundo elemento corresponde a las espinas principales, en las cuales se describen las componentes del proceso (entradas, tareas y salidas) que podrían estar asociadas a la generación del efecto bajo análisis; y finalmente, las espinas menores, definidas como las causas que se considera que están asociadas a que el componente genere desperdicios.

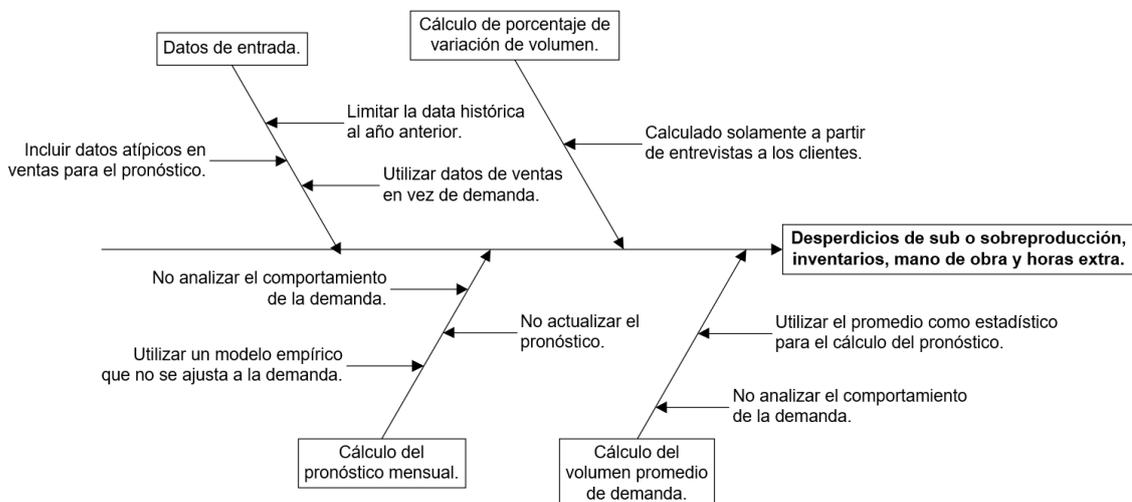
Cabe destacar que, para la comprensión adecuada de los diagramas elaborados es importante considerar que la cabeza puede incluir uno o más desperdicios, por lo tanto, para las causas en las cuales no se especifica el desperdicio asociado, se entiende que genera todos los descritos en la caja principal.

2.6.1. Estimación de la demanda

El primer proceso por analizar corresponde a la estimación de la demanda, se identifican cuatro componentes generadores de desperdicio, además, se determina que las mermas generadas por este proceso corresponden a: Sub o sobreproducción, inventarios, manos de obra y horas extra, se define de esta manera debido a que, al realizar los pronósticos de manera errónea y no utilizarlos para elaborar un MPS, se generan los desperdicios descritos. El diagrama se observa en la Figura 14.

Figura 14

Diagrama de causa – efecto estimación de la demanda



En cuanto a los datos de entrada se identifica tres posibles causas, en primera instancia utilizar únicamente las ventas del año anterior, debido a que, la organización debería utilizar un histórico de datos de demanda de más de doce meses que permita observar

el comportamiento. Otra causa corresponde a la posibilidad de incluir datos de ventas extraordinarias para la alimentación de los pronósticos, debido a que no se realiza un análisis de datos atípicos que permita confirmar que dichas eventualidades podrían alterar los resultados buscados.

Las restantes tres espinas corresponden a tareas propias del proceso, el cálculo de porcentaje de variación de volumen se asocia a la generación de los desperdicios descritos debido a que, es definido únicamente según el comportamiento que se espera tener durante el año a pronosticar considerando los proyectos o las salidas de los clientes.

El cálculo del volumen promedio de demanda se incluye como generador de desperdicios debido a que, el uso de este estadístico debe ser estudiado basado en el comportamiento de la demanda. Utilizar el promedio podría alterar los pronósticos obtenidos ya que, se encuentra sujeto a los extremos que los datos puedan presentar.

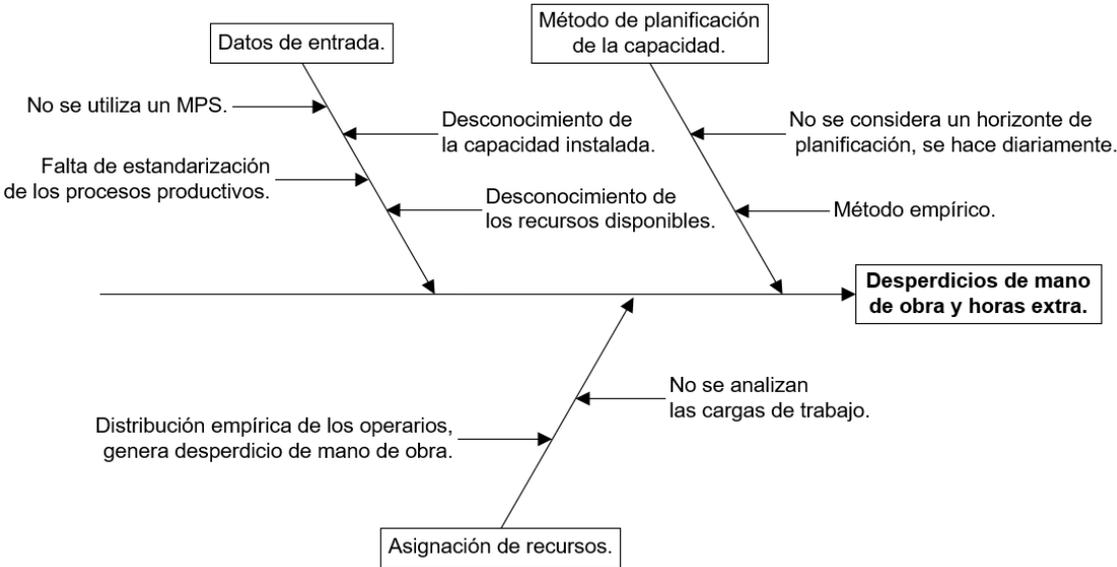
Respecto al cálculo del pronóstico mensual, se identifican cuatro causas, primero que no se analiza el comportamiento de la demanda, por lo tanto, no hay seguridad de que el método empírico se ajusta a la demanda de la organización y existe la posibilidad de que el proceso no genere desperdicios si se utiliza un método cuantitativo ajustado al comportamiento, por otra parte, no se actualiza el pronóstico durante el año según las tendencias de demanda real que se presenten durante los meses transcurridos.

2.6.2. Planificación de la capacidad

Se identifican como mermas: Horas extra y mano de obra, comprendidos como el uso adicional y desperdicio de la capacidad instalada respectivamente. Se define de esta manera ya que, el objetivo de la planificación de la capacidad corresponde a establecer, ajustar y medir los recursos para ejecutar de manera fluida los programas de producción (Gómez y Brito, 2020), por lo tanto, si se ejecutan de manera errónea genera como resultado un inadecuado uso de los recursos. El diagrama se observa en la Figura 15.

Figura 15

Diagrama de causa – efecto planificación de la capacidad



En los datos de entrada se tienen cuatro causas generadoras de desperdicios; no se utiliza un MPS como insumo principal en este proceso, con el fin de ajustar la capacidad y el plan de producción, por otro lado, no se tienen estandarizados los procesos productivos lo que altera los tiempos de ciclo y no permite conocer la capacidad instalada, y se desconoce los recursos con los que cuenta la organización en el área productiva.

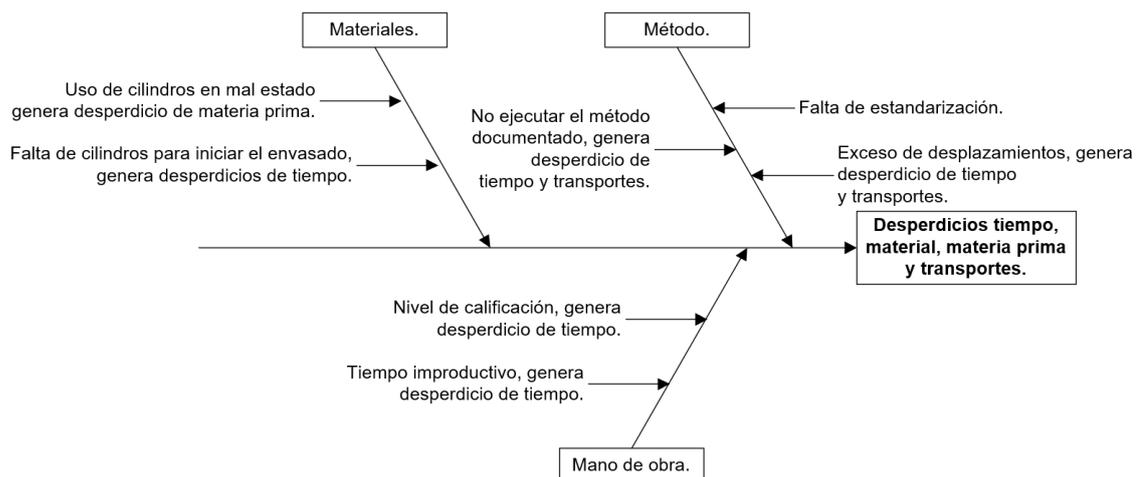
Con respecto al método de planificación de la capacidad, las principales causas generadoras de desperdicios corresponden, en primera instancia, a que el método es empírico y solo se basa en criterio experto con el aproximado de tiempo por banco de llenado; y el plan no se realiza con un horizonte de planificación; es decir, se decide diariamente. Como último componente se tiene la asignación de los recursos, el cual tiene como causas principales que, la distribución de los operarios se realiza empíricamente y no se analizan las cargas de trabajo, por ende, pueda existir desperdicio de mano de obra.

2.6.3. Procesos productivos

Para los cuatro procesos productivos bajo análisis se elabora un mismo diagrama, debido a que todos generan los mismos tipos de desperdicios, correspondientes a: Tiempo, materia prima y transportes. Basado en el método de las 6M, se identifican cuatro componentes del proceso que se asocian a dichos desperdicios. El diagrama se observa en la Figura 16.

Figura 16

Diagrama de causa – efecto procesos productivos



Se determina que los materiales a utilizar generan desperdicios, por ejemplo, durante el llenado es posible detectar fugas derivadas a problemas en la válvula por lo que el cilindro debe ser retirado, ocasionando que el producto ingresado hasta ese momento sea desechado. Asimismo, no disponer con la cantidad suficiente de cilindros para iniciar el envasado provoca tiempo de espera hasta que ingresen los suficientes para comenzar.

La siguiente causa está asociada a la ejecución del método actual del proceso productivo, este no sigue el procedimiento documentado, cada operario mantiene la propia secuencia de tareas. Al no ejecutar el método establecido por la organización, se

encuentra que no hay estandarización de las actividades, por lo que se desconoce el tiempo de ejecución afectando la planificación y propiciando excesos de desplazamientos, diferencias entre los operarios y desperdicios tanto de tiempo como de transportes.

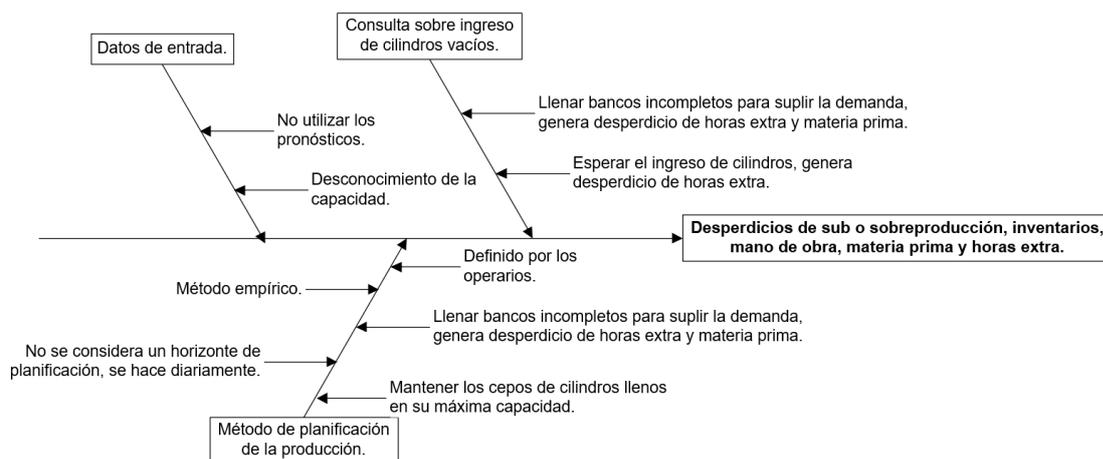
En cuanto a la mano de obra, se tienen afectaciones en desperdicios de tiempo y material, por lo que los operarios deben ser capacitados hasta que adquieran el nivel apropiado de calificación que les permita ejecutar las tareas de manera que se minimice el desperdicio. Además, no ejecutar un método estándar provoca variaciones en los tiempos de ejecución lo que genera desperdicios de tiempo y cuando los operarios no tienen tareas por realizar o están esperando materiales para producir, genera desperdicio de tiempo y de mano de obra.

2.6.4. Planificación de la producción

En el proceso de planificación de la producción, se identifica que los componentes generadores de desperdicios son: Datos de entrada, consulta sobre ingresos de cilindros vacíos y el cálculo del plan de producción. Además, se determina que el efecto al realizar de manera inadecuada el cálculo del MPS, corresponde a sub o sobre producción, inventarios, mano de obra, materia prima y horas extra. El diagrama se observa en la Figura 17.

Figura 17

Diagrama de causa – efecto planificación de la producción



Para realizar el plan de producción, se requiere como insumo la capacidad disponible, con el fin de determinar de manera adecuada, la cantidad a producir; en este caso, este dato se desconoce, por lo que se considera una causa asociada a la generación de desperdicios, además, los pronósticos, no se utilizan para determinar qué, cuánto y cuándo se va a producir.

Por otro lado, en la tarea del cálculo de plan maestro de producción, se tienen cinco causas generadoras de desperdicios: Realizar el plan de manera empírica, por parte de los operarios de producción y sin un horizonte de planificación, ya que, como se ha mencionado, se realiza diariamente, únicamente considerando llenar todos los cilindros vacíos que se encuentren en la planta. Además, se tiene definido mantener el cepo de cilindros llenos en la máxima capacidad y en el caso de que los envases existentes no

logren suplir la demanda, llenar bancos incompletos, aunque esto implique las mermas de horas extra y materia prima.

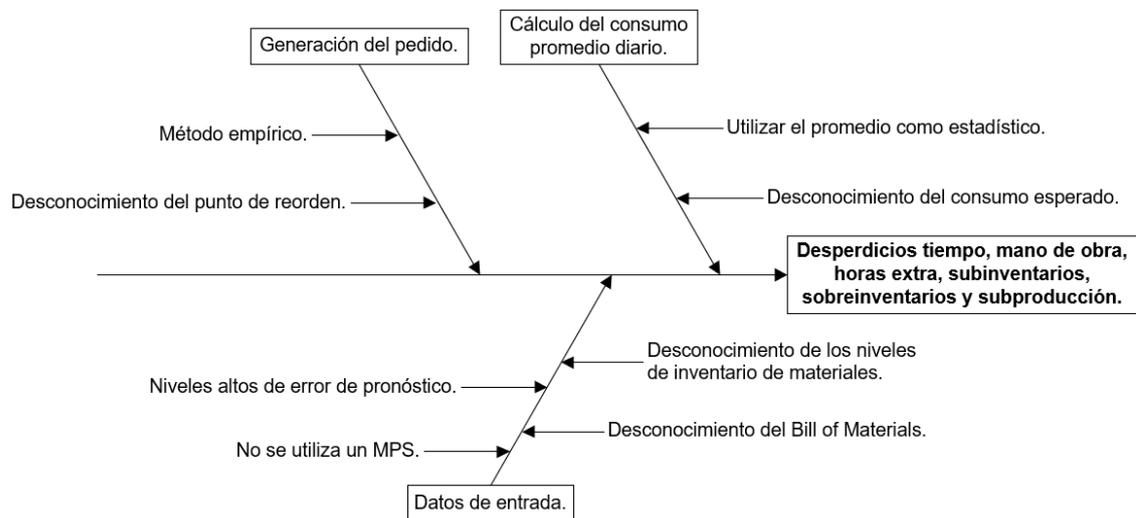
La tarea de consulta sobre el ingreso de cilindros vacíos, tiene dos posibles causas asociadas a la generación de desperdicios, la espera del ingreso de cilindros vacíos para realizar el llenado y cumplir con los pedidos, generando el pago de horas extra, así como el llenado de bancos incompletos en caso de que los envases no sean suficientes, teniendo como efecto las mermas de horas extra y materia prima.

2.6.5. Requerimiento de materiales

Se determina que las mermas generadas en este corresponden a: Tiempo, mano de obra, horas extra y subproducción. Se definen dichos desperdicios, debido a que un inadecuado requerimiento de materiales desencadena en no tener la cantidad de material o materia prima suficiente para producir, y como consecuencia detener la producción parcialmente, generando: Tiempos muertos, horas extras si se retoma la producción después de la jornada y desperdicios de mano de obra; o detenerla totalmente, generando subproducción y desperdicio de mano de obra. El diagrama se observa en la Figura 18.

Figura 18

Diagrama de causa – efecto requerimiento de materiales



Actualmente la generación de las ordenes de pedido, se ejecutan mediante un método empírico, y sin la definición de un punto de reorden ajustado, que considere el comportamiento del consumo de los materiales, materia prima y factores externos. El cálculo del consumo promedio diario genera desperdicios, debido a que no es adecuado que la organización utilice la media como estadístico para el cálculo del punto de reorden, ya que, este se encuentra sujeto a extremos y podría estar afectado por los días de producción en los cuales se consuma mayor o menor cantidad de materia prima.

Otra causa asociada es el desconocimiento del consumo esperado, lo cual se relaciona con los datos de entrada utilizados, debido a que el proceso de requerimiento de materiales se debe alimentar con un MPS, listado de materiales y los niveles de inventario actuales, por lo tanto, se determina que, al desconocer estos elementos, el

plan de pedidos generado puede ser inadecuado, teniendo como consecuencia no tener la materia prima y materiales en el momento necesario para la producción.

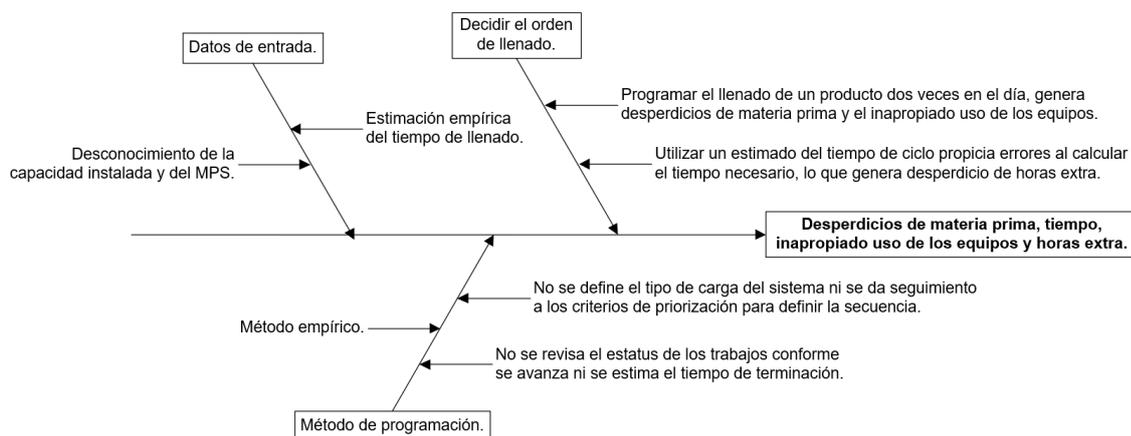
Otra causa determinada corresponde a los altos niveles de error de pronóstico, debido a que las proyecciones de demanda al ser erróneas afectan directamente al plan de producción y requerimiento de materiales.

2.6.6. Programación de la producción

Al realizar el análisis se determina que el efecto ocasionado en la programación está ligado a desperdicios de materia prima, inapropiado uso de los equipos y horas extra. Las causas generadoras se asocian a tres componentes del proceso: Los datos de entrada, el método de ejecución actual y la tarea de decidir el orden de llenado. El diagrama se observa en la Figura 19.

Figura 19

Diagrama de causa – efecto programación de la producción



Al examinar este proceso, se encuentra que no se cuenta con los datos necesarios para llevar a cabo la programación, se carece de información sobre la capacidad instalada y del MPS, por lo que se trabaja con una estimación empírica del tiempo de llenado correspondiente a 30 min por banco, esto ocasiona definir la secuencia con altos niveles de incertidumbre y errores en el cálculo del tiempo de producción, lo que genera desperdicios de horas extra y tiempo.

Evaluando el método empírico actual, se identifica que se excluyen actividades esenciales para programar la producción, tales como: La revisión del estatus de los pedidos conforme se avanza, la estimación del tiempo de terminación de los trabajos, la definición del tipo de carga, el seguimiento y actualización de criterios de priorización, por lo que afecta la definición de una ruta de fabricación que asegure el cumplimiento de los requerimientos sin recurrir a recursos extra.

Para decidir el orden de llenado, no se sigue ninguna técnica que analice la cantidad de trabajos y la fecha de entrega contra la disponibilidad de las máquinas y equipo, esta actividad es realizada empíricamente y basada en criterio experto, por ejemplo, si se programa el llenado de un producto dos veces en el día, se genera el doble de residuos asociados a materia prima y se propicia el inadecuado uso de los equipos.

2.6.7. Seguimiento y control del desempeño

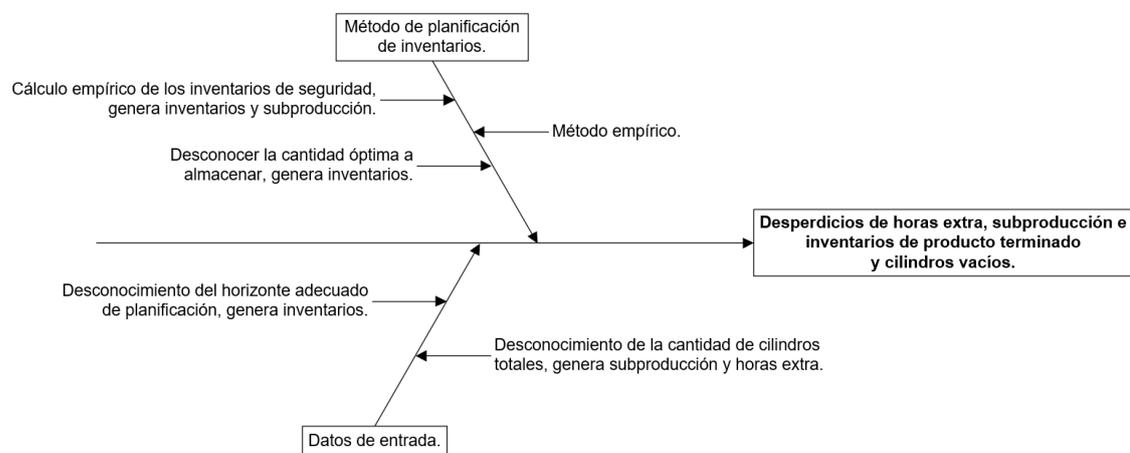
Según Chase et al. (2009), la etapa de seguimiento y control se da como una fase posterior a la planificación que monitorea la ejecución de la producción y los resultados; es decir, debe generar alertas que identifiquen fallos o desviaciones posterior al evento e informa sobre los errores encontrados, por lo que no se asocia con la generación de desperdicios.

2.6.8. Planificación de los inventarios

En la planificación de inventarios las mermas provocadas corresponden a desperdicio de materiales, horas extra, subproducción y generación de stocks de producto terminado. Al evaluar las causas generadoras, se determina que estas se asocian al método de ejecución actual y a los datos de entrada para ejecutar el comparativo mensual, este es realizado para contrastar la cantidad de cilindros real contra la cantidad registrada en el sistema. El diagrama se observa en la Figura 20.

Figura 20

Diagrama de causa – efecto planificación de los inventarios



El método actual se realiza empíricamente y no calcula la cantidad óptima a almacenar ni el inventario de seguridad, por lo que se da la generación de inventario de cilindros llenos sin tener en cuenta la cantidad que asegura cumplir con los requerimientos de los clientes y minimiza los costos por tenencia. Al no considerar este punto óptimo, se genera desperdicio al producir más inventario del requerido, o bien, subproducción al realizar menos de lo necesario; se resalta que la empresa no estima el costo asociado a esta tenencia de inventario por lo que desconoce el impacto económico.

Al realizar el comparativo mensual, se examinan las diferencias entre la cantidad real y la registrada en el sistema, si no se lleva un control actualizado y ocurren errores al registrar los cilindros, se encuentran diferencias injustificadas de faltantes, por lo que la empresa debe asumir este extravío, generando desperdicio de materiales y contar con una menor cantidad disponible de cilindros para la operación. Asimismo, desconocer el horizonte de planificación provoca estimar el requerimiento de inventario sin tener en cuenta estrategias diferenciadas según los objetivos a corto, mediano y largo plazo.

2.7. Análisis del error de pronóstico

Se analiza el error de pronóstico con el fin de comprender el impacto en la planificación de la producción y encontrar causas asociadas a la problemática identificada. El detalle de los cálculos realizados se presenta en el Apéndice 9.

2.7.1. Análisis de los componentes sistemáticos de la demanda

La selección del método a utilizar para el pronóstico de la demanda en una organización depende de diferentes factores, entre los cuales se incluyen la naturaleza de la empresa, de los productos, los recursos, el marco de tiempo, la exactitud y aspectos por pronosticar (Palacios, 2019). Asimismo, para determinar la técnica apropiada de pronóstico, se debe identificar el patrón existente ya sea constancia, tendencia, estacionalidad, aleatoriedad o ciclicidad (Krajewski et al., 2018).

Basado en las afirmaciones anteriores, se procede a analizar el comportamiento de la demanda desde el año 2019 hasta el año 2021. El análisis se realiza mediante el software Forecast Pro TRAC, el cual es una herramienta automática de pronósticos que permite la estimación por selección experta o ajustados por el usuario. Se analiza para cada una de las familias y tipos de productos bajo estudio. Para elaborarlo se estudian los eventos presentes en cada uno de los históricos de demanda y se catalogan como efecto de la pandemia, con el fin de evitar la alteración del comportamiento usual y los resultados.

Además, se estudia la tendencia, lo cual corresponde al crecimiento o decrecimiento del promedio de los datos en el tiempo. Por otro lado, la estacionalidad se define como un patrón repetible de crecimiento o disminución de la demanda (Krajewski et al., 2018), este componente se puede clasificar en aditivo, si el patrón estacional se mantiene constante a pesar de que la magnitud de los datos varíe, o bien, en multiplicativo si el patrón estacional varía conforme aumenta o disminuye la magnitud de los datos (Hyndman et al., 2008).

Y por último el nivel, según Krajewski et al. (2018) corresponde a una demanda que muestra una fluctuación en torno a una media sostenida, en este caso se representa con el promedio de los datos históricos en metros cúbicos (m^3) debido a que estos no presentan tendencia; es decir, no hay incrementos o disminuciones en el tiempo. Los resultados de dicho análisis se presentan en la Tabla 8.

Tabla 8

Componentes sistemáticos de la demanda

Tipo de producto	Componentes sistemáticos		
	Tendencia (m^3)	Estacionalidad	Nivel (m^3)
Argón	NA	Aditiva	644
Dióxido de carbono	NA	Aditiva	548
Nitrógeno	NA	Multiplicativa	419
Oxígeno	NA	Multiplicativa	3 737

Al comprender el comportamiento de la demanda, es posible determinar modelos estadísticos de pronóstico que se ajusten a los resultados obtenidos, con estos sería

posible disminuir el error de pronóstico debido a que consideran los componentes sistemáticos de la demanda. Entre los modelos recomendados se tiene:

- a. Método Winters: Este realiza una suavización de los datos añadiendo multiplicadores estacionales al modelo de suavización exponencial con tendencia lineal, posibilitando analizar la demanda que cuenta tanto con un componente estacional como de tendencia (Hopp y Sperman, 2008).
- b. Método Box-Jenkins: Este busca modelar el comportamiento de las series de tiempo, utiliza estudios de regresión para analizar la autocorrelación, autocorrelación parcial y el desfase de los datos. Establece que los eventos pasados afectarán los eventos futuros por lo que es más flexible a los datos; para aplicar el modelo se necesita un nivel de detalle mayor pero el pronóstico es más exacto ya que es filtrado y corregido (Ghiani et. al, 2004).

2.7.2. Error de pronóstico

Para el análisis del error de pronóstico, se utilizan datos históricos de las ventas reales y pronosticadas desde el año 2019 hasta el 2021. Se inicia con el estudio de los datos atípicos del histórico que podrían afectar los resultados finales, se determina que no hay presencia de datos extraños y se procede al cálculo de la métrica MAPE, la cual se define como el error porcentual absoluto medio y relaciona el error con el nivel de la demanda; un resultado porcentual de MAPE es inequívoco, ya que, no es dependiente de, por ejemplo, cuestiones como la magnitud de los datos utilizados (Heizer y Render, 2007; Krajewski et al., 2008). El MAPE obtenido se presenta en la Tabla 9.

Tabla 9

Error de pronóstico MAPE

Tipo de producto	Error MAPE		
	2019 (%)	2020 (%)	2021 (%)
Argón	16 ± 14	23 ± 27	13 ± 9
Dióxido de carbono	32 ± 6	19 ± 10	25 ± 11
Nitrógeno	17 ± 9	19 ± 11	11 ± 9
Oxígeno	24 ± 8	28 ± 11	37 ± 9

Del error de pronóstico obtenido, se analiza la demanda pronosticada de los productos que fue subestimada y sobreestimada, para ello se utiliza la métrica de la señal de rastreo, la cual se interpreta en un rango de ± 6 , lo cual indica que el pronóstico tiene sesgo y se está subpronosticando (< -6) o sobrepronosticando ($> +6$) (Chopra y Meindl, 2008). Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 10.

Tabla 10

Señal de rastreo

Tipo de producto	Señal de rastreo		
	2019	2020	2021
Argón	8	5	-4
Dióxido de carbono	-12	-9	-11
Nitrógeno	-10	-4	-11
Oxígeno	-12	-12	-12

De la información presentada en las Tablas 9 y 10, se determina que la mayoría de los productos fueron subpronosticados; es decir, la demanda real fue mayor que la proyección elaborada por la organización. La sobreestimación y subestimación de los pronósticos podría afectar a la empresa en la planeación de la producción, al subestimarla podría provocar que se incurra en el pago de horas extra para cumplir con la demanda real, en contraparte, sobreestimarla podría generar excesos de producto terminado almacenado o el desperdicio de la capacidad instalada.

Con el fin de determinar si el error de pronóstico se encuentra en un rango aceptable, se considera la meta definida por la casa matriz de la organización, correspondiente a un $\pm 5,0\%$ sobre las ventas totales de la empresa. Debido a lo anterior, se procede a calcular el valor monetario que representa el error MAPE sobre las ventas de los últimos tres años por producto los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 11.

Tabla 11

Representación MAPE sobre ventas totales 2019-2021

Tipo de producto	Representación MAPE sobre ventas totales		
	2019 (€)	2020 (€)	2021 (€)
Argón	51 902 639	60 240 254	37 828 706
Dióxido de carbono	74 568 809	31 526 471	46 864 214
Nitrógeno	22 209 690	22 113 853	14 192 929
Oxígeno	161 338 219	232 385 645	304 586 696

Seguido, se calcula el error de pronóstico MAPE sobre las ventas totales de la empresa, este valor se obtiene por año desde 2019 hasta 2021. Los resultados se observan en la Tabla 12.

Tabla 12

Porcentaje MAPE sobre ventas totales

Año	2019	2020	2021
Suma de la representación	€310 019 357	€346 266 223	€403 472 545
Ventas totales anuales	€3 156 844 315	€3 601 712 469	€5 206 065 772
MAPE sobre ventas totales	9,8%	9,6%	7,8%

De los resultados obtenidos se encuentra que, actualmente se sobrepasa la meta establecida por la organización en un promedio de 4,1% desde el año 2019, sin embargo, no es posible afirmar con estos resultados que el método empírico utilizado por la organización es adecuado o no, debido a que, se encuentran tres posibles escenarios: La meta actual no se encuentra lógicamente definida, el procedimiento utilizado no es adecuado o una combinación de ambos.

Para la evaluación objetiva del error de pronóstico, se procede a generar las proyecciones de la demanda del año 2021 utilizando métodos ajustados al comportamiento, para ello, se utiliza el software Forecast Pro TRAC. Los aspectos considerados para realizar los pronósticos son: La herramienta se alimenta con los datos históricos de ventas de 2019 y 2020 para pronosticar el año 2021, se realizan las proyecciones en dos contextos, análisis fijo y móvil, y no se realizan ajustes a la selección experta del modelo, sin embargo, se ajustan los datos afectados por la

pandemia, tal como se realiza actualmente. Los resultados de error obtenidos para el pronóstico fijo se muestran en la Tabla 13.

Tabla 13

Porcentaje MAPE pronóstico fijo de 2021

Tipo de producto	Error MAPE
Argón	11,9%
Dióxido de carbono	8,3%
Nitrógeno	10,1%
Oxígeno	12,5%

Con los datos obtenidos, se realiza el mismo procedimiento anterior, obteniendo así un error MAPE sobre las ventas totales de 3,2% para el año 2021, es decir, una diferencia de 4,5% con respecto al original, lo cual representa $\$236\,093\,747$. Con esto, se evidencia que el método empírico utilizado por la organización no es adecuado, debido a que, con un modelo estadístico ajustado a los componentes sistemáticos analizados, se obtiene un error de pronóstico menor, a pesar de realizar las proyecciones bajo un contexto de pandemia que altera el comportamiento regular de la demanda. Los resultados obtenidos indican que es posible mejorar potencialmente los pronósticos de la organización.

Además, se encuentra que la meta establecida por la empresa corresponde a una política institucional, la cual no es consecuente con la realidad de la organización, debido a que desde el año 2019 se incumple dicha métrica y el proceso de estimación de la demanda no fue corregido para cumplirla. Además, se realizan las proyecciones con un pronóstico móvil, lo cual, demuestra que se puede obtener una mejora aún mayor en los datos pronosticados. El error obtenido en este contexto se muestra en la Tabla 14.

Tabla 14

Porcentaje MAPE pronóstico móvil de 2021

Tipo de producto	Error MAPE
Argón	9,6%
Dióxido de carbono	10,1%
Nitrógeno	9,1%
Oxígeno	14,5%

Se realiza el mismo procedimiento, obteniendo un MAPE sobre las ventas totales de 3,4% para el año 2021, lo que se traduce en una diferencia de 4,3% con respecto al pronóstico original, correspondiente a $\$224\,326\,910$. Cabe destacar que, existe un incremento en el error de pronóstico de dos de los cuatro productos bajo análisis, lo cual se debe a que, durante el año 2021 la demanda aún se encontraba afectada por la pandemia dificultando la proyección, a diferencia de los restantes que no fueron afectados por este evento.

2.8. Medición de la desviación de los tiempos de ejecución

En esta etapa del diagnóstico, se plantea elaborar un estudio de tiempos para cada proceso productivo bajo análisis, sin embargo, durante los muestreos preliminares para obtener el tamaño de muestra necesario que brinde resultados estadísticamente

representativos, se determina que, debido a que el proceso no se ejecuta de acuerdo con el método establecido y existen diferencias durante la ejecución, no es posible llevar a cabo un estudio de tiempos para realizar el análisis de capacidad, ya que, según Niebel y Freivalds (2009) el método debe estandarizarse antes de iniciar el estudio.

Además, para el establecimiento de estándares de tiempo se puede optar por el uso de estimaciones, registros históricos y procedimientos de medición del trabajo; y es importante conocer que los tiempos establecidos con mayor precisión incrementan la eficiencia, sin embargo, es preferible tener estándares de baja exactitud que desconocidos (Niebel y Freivalds, 2009).

A partir de lo anterior, se procede a realizar un muestreo de tiempos guía, entendiendo estos como tiempos de referencia que carecen de representatividad estadística para obtener un tiempo estándar, pero que permiten analizar los efectos de las variaciones que existen actualmente entre el método y la ejecución. Seguido, se comparan los resultados obtenidos contra los tiempos de ciclo actualmente utilizados por la organización, con el fin de obtener el impacto de la diferencia en la planificación de la capacidad.

2.8.1. Tiempos de ejecución del proceso productivo

Se realiza la toma de tiempos de ejecución de cada una de las tareas que componen el proceso, los tiempos de ciclo son por bancos para Ar, N₂ y O₂ y por cilindros para CO₂.

a. Tiempo de ciclo O₂

A partir del estudio del método actual, se encuentra que el tiempo de ciclo por banco no se obtiene con la suma de las once tareas identificadas, debido a que, los traslados no se ejecutan en todas las ocasiones, ya que depende de la cantidad de bancos a llenar, como se menciona en la subsección 2.5.2, y además, el proceso permite la ejecución simultánea de tareas después del segundo banco. Los tiempos por tarea se muestran en la Tabla 15.

Tabla 15

Tiempos guía O₂

Tareas	Tiempo por tarea (min)	Tiempo por banco (min)
Traslado 1	4,8 ± 0,2	9,6
Traslado 2	2,7 ± 0,1	5,4
Traslado 3	2,1 ± 0,1	2,1
Etiquetado	11,1 ± 0,2	55,5
Venteo	9,1 ± 3,6	9,1
Vacío	8,2 ± 3,8	8,2
Prellenado	13,0 ± 2,0	13,0
Llenado	30,8 ± 2,6	30,8
Sellado	1,0 ± 0,7	1,0
Retiro	3,8 ± 0,1	3,8
Traslado 4	3,2 ± 0,1	3,2

Para el llenado de O₂, la cantidad más común de bancos a envasar es cinco, el tiempo de ciclo para estas condiciones, corresponde a 133,7 min para el primer banco y 30,8

min del segundo banco en adelante. Para el primer banco se debe considerar dos veces el traslado 1 y 2, una vez el traslado 3 y una vez las demás actividades, excluyendo el traslado 4, sellado y retiro, además se etiquetan todos los cilindros antes de iniciar.

En caso de solamente envasar dos bancos, el tiempo de ciclo de 133,7 min, se reduce a 92,9 min, ya que se eliminan los traslados 2, 3 y el etiquetado de tres bancos. Por otro lado, para el banco dos en adelante se considera solamente la tarea de llenado, debido a que el traslado 1, venteo y vacío se ejecuta durante el llenado del primer banco. Si se llena un tercer banco, el tiempo de ciclo es igual que el del segundo banco, ya que el traslado 2 se realiza durante el tiempo de ejecución del primer banco y el traslado 4, venteo y vacío se ejecutan durante el llenado del segundo banco.

Con estos tiempos de ejecución, se obtiene una tasa de producción de 47 cilindros por hora en tiempo efectivo; es decir, restando del tiempo disponible, los min correspondientes al alisto de la producción. Cabe destacar que, en las tareas de venteo y vacío, se obtienen desviaciones de 40,0% y 46,0% respectivamente, debido a que el tiempo depende de la cantidad de materia prima que se encuentre dentro de los cilindros previo a la ejecución.

b. Tiempo de ciclo N₂

Para la ejecución de este método se cuenta con una sola línea de producción y en este caso, si se llena más de un banco no se contabiliza el tiempo de prellenado, debido a que se ejecuta una sola vez durante el proceso, ni de etiquetado, debido a que se realiza mientras se llena el primer banco. Los tiempos por tarea se muestran en la Tabla 16.

Tabla 16

Tiempos guía N₂

Tareas	Tiempo (min)
Traslado	16,7 ± 0,1
Etiquetado	25,9 ± 0,2
Venteo	7,0 ± 0,9
Vacío	7,9 ± 1,9
Prellenado	13,9 ± 2,2
Llenado	34,6 ± 1,9
Sellado	2,2 ± 0,7
Retiro	10,5 ± 0,1

Para el llenado de N₂, la cantidad más común de bancos a envasar es uno, el tiempo de ciclo total para estas condiciones, corresponde a 118,7 min. Por otro lado, la tasa de producción restando los min de alisto, es de 49 cilindros por hora.

c. Tiempo de ciclo CO₂

Como se mencionó en la subsección 2.5.2, se cuenta con dos tipos de cilindros para este gas correspondientes a, con sifón y sin sifón. Los cilindros con sifón, se les realiza un venteo en la parte exterior de la planta, lo que ocasiona que el tiempo de alisto sea más extenso, sin embargo, esto no altera el tiempo de llenado. Los resultados se muestran en la Tabla 17.

Tabla 17*Tiempos guía CO₂*

Tareas	Tiempo por tarea (min)	Cilindro (min)	
		Primero	Segundo
Traslado 1	0,2 ± 0,1	0,2	
Traslado 2	0,5 ± 0,3	0,5	
Venteo	4,5 ± 1,2	4,5	
Traslado 3	0,2 ± 0,1	0,2	
Etiquetado	0,9 ± 0,2	0,9	
Prellenado	3,3 ± 0,1	3,3	0,4
Llenado	2,2 ± 0,1	2,2	2,2
Retiro	0,4 ± 0,1	0,4	0,4

Se tienen tres traslados, sin embargo, para los cilindros con sifón solamente se ejecutan los traslados 2 y 3. El tiempo de ciclo, sin considerar el alisto, es de 5,5 min para el primer cilindro y de 2,2 min para el segundo, debido a que, es posible realizar el prellenado y el retiro mientras el cilindro de la otra línea se está envasando.

Las tareas de traslado y etiquetado se consideran de alisto, debido a que se ejecutan previo al inicio del llenado, por lo tanto, depende de la cantidad de cilindros a envasar, en la Tabla 17 se muestra el tiempo promedio para un cilindro, el cual corresponde a 1,1 min para cilindros sin sifón y 1,6 min para cilindros con sifón, cabe destacar que, el venteo no forma parte de las tareas de alisto debido a que este se ejecuta durante los traslados. La tasa de producción corresponde a 27 cilindros por hora.

d. Tiempo de ciclo Ar

En este caso se cuenta con una línea de envasado. Los tiempos se muestran en la Tabla 18.

Tabla 18*Tiempos guía Ar*

Tareas	Tiempo (min)
Traslado	15,0 ± 0,1
Etiquetado	23,1 ± 0,2
Barridos	56,5 ± 4,5
Prellenado	12,1 ± 2,6
Llenado	36,7 ± 4,4
Sellado	2,0 ± 0,6
Retiro	10,4 ± 0,2

Para el llenado de Ar, la cantidad más común de bancos a envasar es uno, el tiempo de ciclo total corresponde a 155,9 min y la tasa de producción es de 41 cilindros por hora.

2.8.2. Impacto en la capacidad real instalada

A partir de la toma de tiempos guía y el cálculo del tiempo de ciclo, se determina que los resultados obtenidos difieren de los tiempos actualmente utilizados por la empresa, por

lo tanto, se procede a analizar la diferencia para determinar el impacto operativo y comparar los resultados obtenidos.

Para realizar la comparación, se calcula la tasa de producción actual y real en metros cúbicos por hora (m^3/h), las cuales se obtienen a partir de los tiempos de llenado; es decir, no se consideran los tiempos de alisto, para mayor detalle de los cálculos observar el Apéndice 10. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 19.

Tabla 19

Comparación de la capacidad actual contra real

Producto	Actual			Real		
	Tiempo (min)	Cilindros por hora	m^3/h	Tiempo (min)	Cilindros por hora	m^3/h
Ar	40	38	233,6	36,7	41	255,0
CO ₂ (con sifón)	-	-	-	2,2	27	342,8
CO ₂ (sin sifón)	-	-	-	2,2	27	342,8
N ₂	30	56	348,9	34,6	49	302,2
O ₂	30	48	299,1	30,8	47	291,4

A partir de lo anterior, queda en evidencia que los tiempos de ciclo reales difieren de los tiempos con los cuales la organización planifica la capacidad actualmente, cabe destacar que, los tiempos aproximados definidos por la empresa no consideran el alisto de la totalidad de cilindros a envasar durante la jornada laboral; es decir, consideran que el tiempo del primer banco es igual que el del segundo banco en adelante.

La tasa de producción aumenta en un 9,15% para Ar y disminuye 13,4% para N₂ y 2,6% para O₂. Con las diferencias encontradas, se infiere la necesidad del cálculo de tiempos estándar estadísticamente representativos, ya que, para la planificación de la capacidad, primero se debe realizar el estudio de la capacidad instalada, con el fin de conocer la cantidad diaria de cilindros que pueden obtenerse en el proceso de envasado, además, según Slack et al. (2013) la capacidad corresponde al nivel máximo de actividades que se pueden alcanzar durante un periodo de tiempo definido, para lo cual es necesario incorporar una dimensión temporal adecuada al uso de los recursos con los cuales cuenta la empresa.

2.9. Volumen de producción y desperdicios de materia prima

En la evaluación preliminar, se determina que la empresa actualmente mantiene máximos y mínimos en los niveles de producción, lo que podría estar asociado al pago de horas extra y a la generación de desperdicios, en esta etapa del diagnóstico se realiza un análisis de las mermas del proceso y los volúmenes de producción comparados contra el patrón de consumo del mercado y la capacidad instalada.

2.9.1. Análisis del servicio de demanda

Se inicia con el análisis del servicio de demanda puesto que, este elemento corresponde a cómo aborda el mercado la organización y permite definir el método para el cálculo del MPS. En un sistema make-to-order (MTO) la producción se da solamente cuando el cliente así lo requiere, por lo tanto, los inventarios no son necesarios, por otro lado, un sistema make-to-stock (MTS) se basa en los pronósticos, como resultado, la producción

predice la demanda efectiva y se mantienen inventarios. Para determinar cuál utilizar se deben considerar aspectos como las características del producto, del proceso, el volumen de la demanda, entre otros (Ghiani et al., 2004).

Actualmente, la empresa utiliza un sistema híbrido con predominancia MTS; es decir, ejecuta la manufactura sin tener demanda explícita por parte de los clientes, sin embargo, debe responder al porcentaje de 30,0% de clientes categorizados como hospitales en el momento que estos generen un pedido, aunque ya se haya completado la producción del día.

Se determina de predominancia MTS debido a que, mantienen estipulado envasar hasta no tener cilindros vacíos y no verifican los pedidos entrantes, esto se relaciona a la política de ventas, la cual acepta pedidos hasta las cuatro de la tarde y deben entregar estas órdenes el día siguiente; es decir, con el fin de cumplir con los pedidos que ingresen, envasan todos los cilindros que sea posible. Este servicio de demanda actualmente utilizado no se define mediante el análisis del patrón de consumo, sino que se establece empíricamente.

Una vez comprendido el sistema actual que utiliza la empresa, se procede a estudiar las características del proceso y del producto, el comportamiento de consumo y la política de ventas. El patrón de consumo se caracteriza por colocar el pedido y mantener una necesidad de respuesta inmediata, debido a que, se tienen clientes que realizan compras directas en el local y se tiene un promedio de 53 pedidos diarios, los cuales, por política de ventas deben ser despachados el día siguiente.

Relacionado con lo anterior, el proceso productivo no permite ejecutar el envasado cada vez que ingresa un pedido, debido a que encender la bomba más de una vez durante el día genera mermas y excesivo consumo eléctrico. Además, el tiempo de ciclo para obtener producto terminado es de alrededor 36,0 min, llenar cilindros que no completen la totalidad del banco produce desperdicios, por otro lado, entre las características del producto se tiene que no es perecedero, lo que permite el almacenamiento durante largos periodos, por lo tanto, se encuentra que la organización debe trabajar con un sistema híbrido con predominancia MTS.

2.9.2. Análisis del volumen de producción actual

Se realiza un análisis con el fin de conocer si la capacidad instalada es suficiente para cubrir el requerimiento de producción, la utilización de esta y las implicaciones relacionadas con los volúmenes de producción actuales. Para ello, se elabora un MPS agregado nivelador en m^3 con un horizonte de 28 semanas, para obtener el requerimiento de producción y compararlo contra la capacidad instalada.

Para la elaboración del MPS, inicialmente se realiza un pronóstico semanal de demanda agregada del año 2021 en m^3 con un modelo móvil de suavización exponencial. Seguido, se calcula el plan de producción y se nivela cada cuatro semanas, debido a que se trata de un análisis a nivel estratégico, para esto se define un inventario inicial del 65,0% de la capacidad total de 3327 m^3 de almacenamiento, se establece este porcentaje debido a que por observación directa es la utilización típica de la bodega.

El objetivo del MPS agregado nivelador, corresponde a mantener como inventario final un número superior o igual al IS, por lo tanto, se define una cantidad variable para cada

sección del horizonte de planificación donde se nivela la producción, la cual corresponde a una fracción de la capacidad de almacenamiento total, esta proporción va desde el 10,0% hasta el 75,0%, condicionado a cumplir el requerimiento del periodo bajo análisis, evitar el incumplimiento del IS y la acumulación de inventario al final de cada semana.

A partir de los cálculos realizados, los cuales se pueden observar con detalle en el Apéndice 11, se obtiene un plan de producción variable en m³ por cada cuatro semanas, este se desagrega por tipo de producto utilizando los porcentajes de distribución de ventas mensuales de 2019 hasta 2021 y se obtiene el requerimiento en m³ para cada gas.

Además, para el cálculo de la distribución de tiempo actual, se define una jornada de 5,5 turnos con 7,3 horas, la cual se define a partir de la diferencia de las nueve horas y treinta minutos totales menos el tiempo de alisto, noventa minutos de descansos y, debido a que la lectura con cronómetro podría no incluir las demoras inevitables de la jornada como necesidades básicas del operario o fatiga básica, se define un porcentaje de 9,0% de suplementos, ya que “entre 5,0% de holgura por necesidades personales y 4,0% de holgura por fatiga básica, la mayor parte de los operarios tienen 9,0% de holgura inicial constante, a la que se pueden agregar otras holguras, si es necesario” (Niebel y Freivalds, 2009, p. 367).

Semanalmente se obtiene un tiempo disponible de 40,0 horas, de las cuales 15,5 horas se destinan a alisto y 24,6 horas corresponden a tiempo efectivo de llenado. Establecido el requerimiento semanal por producto y el tiempo disponible, se procede a calcular el tiempo efectivo actualmente destinado para la producción de cada gas, este porcentaje se obtiene a partir del promedio de ventas semanales de 2019 hasta 2021. Los resultados se observan en la Tabla 20.

Tabla 20

Tiempo semanal disponible por tipo de producto

Tipo de producto	Promedio (%)	Llenado (h)	Alisto (h)
Argón	12,9 ± 5,2	3,2	5,9
Dióxido de carbono (con sifón)	6,5 ± 2,5	1,6	0,9
Dióxido de carbono (sin sifón)	16,4 ± 4,0	4,0	1,7
Nitrógeno	7,9 ± 2,0	1,9	1,3
Oxígeno	56,4 ± 7,9	13,9	5,6
Total	100,0	24,6	15,5

Con esta distribución, se obtiene la tasa de producción actual que utiliza la organización en m³/h y se compara contra la tasa de producción requerida de llenado. Con el fin de ejemplificar los resultados, se presentan los valores de las semanas 1 a 4 en la Tabla 21, en la cual se observa el ritmo de producción actualmente alcanzado por la organización, la capacidad requerida y la diferencia encontrada.

Tabla 21*Tasa de producción actual contra requerida*

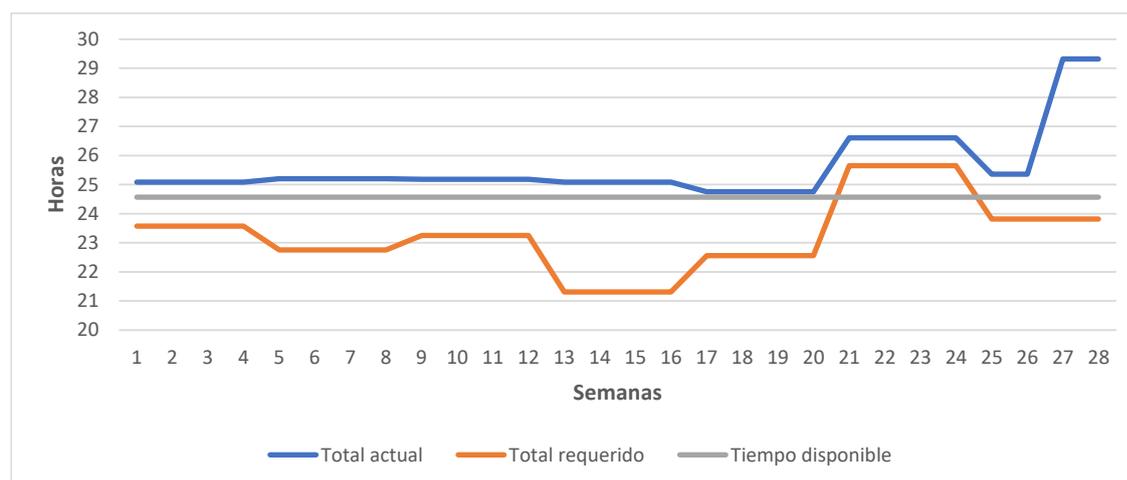
Tipo de producto	Semanas 1 - 4 (m ³ /h)		
	Actual	Requerido	Diferencia
Argón	295,0	255,0	-40,0
Dióxido de carbono (con sifón)	216,0	343,9	127,9
Dióxido de carbono (sin sifón)	327,9	343,9	16,0
Nitrógeno	306,1	302,2	-3,9
Oxígeno	276,0	291,4	15,4

Al replicar el análisis anterior en las restantes semanas, se obtiene que actualmente las roturas de inventario se dan en la totalidad de los periodos, cuyo origen se identifica como las distribuciones de tiempo utilizadas por la empresa, debido a que, en estas se da la rotura en al menos un gas y se tiene capacidad ociosa para los restantes; es decir, la empresa tiene capacidad instalada suficiente para cubrir el requerimiento de demanda pronosticado. Las roturas de inventario y capacidad ociosa por producto se pueden observar en la Tabla 22.

Tabla 22*Análisis de incidencia para 28 semanas*

Tipo de producto	Porcentaje de semanas (%)	
	Rotura	Ociosa
Argón	71,0	29,0
Dióxido de carbono (con sifón)	21,0	79,0
Dióxido de carbono (sin sifón)	7,0	93,0
Nitrógeno	29,0	71,0
Oxígeno	43,0	57,0

Se procede a determinar la distribución de tiempo requerida para ejecutar la planificación de la producción de tal forma que sea posible cubrir la demanda, a partir de la tasa en m³/h real. Se obtiene la distribución mostrada en la Figura 21.

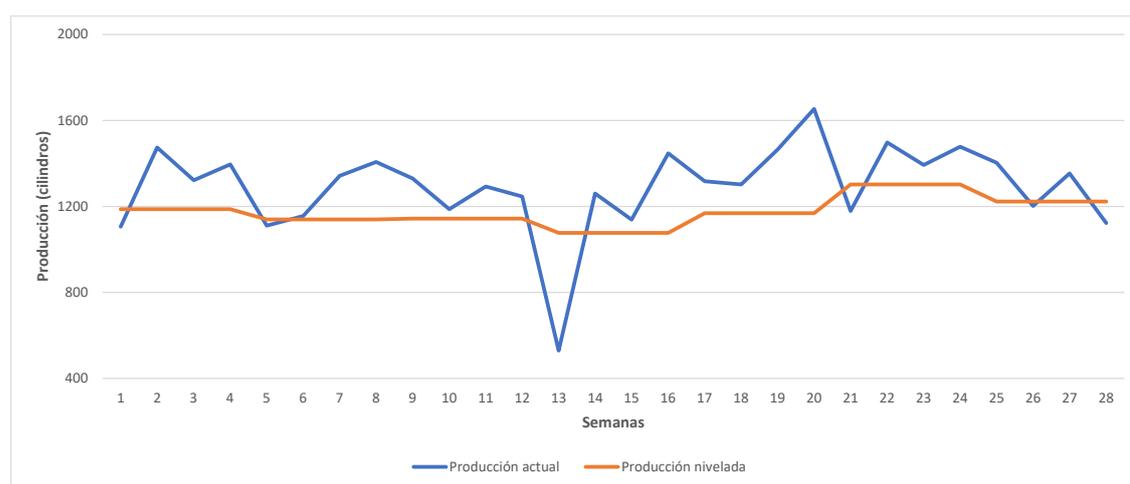
Figura 21*Comparación de distribución de tiempo*

Se determina que, es posible cumplir con los requerimientos con una reestructuración de las horas (h) dedicadas por producto, debido a que, se logra disminuir las roturas de inventario de 100,0% a 14,3% y asumiendo que dichas roturas se cubren con horas extra, se tendría una diferencia de 29 h a 4 h, lo que representa un ahorro de €55 225 por operario.

Además, se procede a estudiar los datos reportados en las hojas de producción de la organización durante las primeras 28 semanas del año 2021. Se encuentra que la curva de producción actual presenta máximos y mínimos en los datos registrados, lo cual podría evitarse manteniendo un plan de producción nivelado y cumplir con la demanda esperada, este análisis se muestra gráficamente en la Figura 22.

Figura 22

Análisis en los niveles de producción actuales por semana



Tal como se observa, la curva de producción nivelada carece de máximos y mínimos en la producción semanal, lo cual se relaciona a una planificación más adecuada para la organización. Adicionalmente, se analiza la curva diaria de producción actual por tipo de producto y se obtiene que, al igual que con el horizonte semanal, los datos presentan fluctuaciones pronunciadas, dejando en evidencia una inadecuada planificación, en la Tabla 23 se presentan las desviaciones estándar, las cuales representan hasta el 78,0% del promedio de producción registrado.

Tabla 23

Promedio de producción diaria actual por producto

Tipo de producto	Cilindros	
	Promedio	Desviación
Argón	40	31
Dióxido de carbono (con sifón)	8	5
Dióxido de carbono (sin sifón)	32	19
Nitrógeno	30	13
Oxígeno	178	59

2.9.3. Desperdicios de materia prima

Se procede con el análisis de las fuentes de desperdicio y el impacto actual, para ello se analizan los datos reportados por la organización de mermas mensuales desde enero 2021 hasta abril 2022 para cada uno de los productos, la empresa mantiene los reportes en unidades de kg y para la unidad monetaria se utilizan colones.

Durante el periodo analizado, se registraron gastos de ₡208 142 371 por desperdicio para la totalidad de productos, se encuentra que, el costo por kg de merma varía mes a mes por fluctuaciones del precio en la materia prima. Al evaluar el histórico de datos, se determina que el promedio mensual de mermas es de 2 035 kg \pm 408 kg, lo cual se traduce en un gasto mensual promedio de ₡13 008 898 \pm ₡2 832 642, de la totalidad de productos el que mayor gasto por desperdicios genera corresponde al N₂ con un 42,4%, seguido del O₂ con un 23,6%, CO₂ con 22,7% y finalmente, el Ar con 11,3%.

Las fuentes de desperdicio identificadas se ubican a lo largo de la tubería de envasado, desde que el gas ingresa al tanque principal de materia prima hasta que llega a la línea de envasado, se identifican: Desperdicio por descarga de pipas, venteo de línea, válvula en mal estado y llenado de bancos incompletos, sin embargo, el porcentaje de mermas asociado a cada una de las fuentes se desconoce, debido a que no es posible medirlo.

2.10. Análisis de inventarios

Se realiza el análisis de la política de inventario de cilindros utilizada, mediante la comparación de la cantidad de cilindros vacíos con los que en promedio cuenta la empresa semanalmente contra los requeridos con base en el plan de producción para cubrir la demanda. Se busca determinar la pertinencia e implicaciones del método a nivel operativo, ya que, según Chase et al. (2009) el inventario tiene el propósito de cubrir la variación de la demanda y brindar flexibilidad en la programación.

Inicialmente, se toman los resultados de requerimiento en m³ por tipo de producto obtenidos del MPS agregado nivelador y se desagregan por SKU de manera semanal, con el fin de obtener los cilindros necesarios por capacidad de almacenamiento. Seguido, para determinar la cantidad de cilindros vacíos en inventario, se utiliza el promedio de los envases que la organización llena semanalmente, debido a que la empresa actualmente envasa todos los cilindros vacíos disponibles durante la jornada.

Los valores promedio obtenidos, en cilindros, corresponden a 157 para Ar, 162 para CO₂, 93 para N₂ y 840 para O₂. Finalmente, se realiza la comparación de envases vacíos disponibles contra requeridos, en la Tabla 24 se muestran los resultados obtenidos para la semana 1 con el fin de ejemplificar el análisis.

Tabla 24

Análisis de política de inventarios para semana 1

Tipo de producto	Semana 1 (Cilindros)		
	Requerimiento	Disponibles	Diferencia
Argón	151	157	6
Dióxido de carbono	97	162	66
Nitrógeno	111	93	-18
Oxígeno	828	840	12

Al analizar las 28 semanas bajo estudio, se determina que en 85,7% hubo faltante de cilindros en al menos un producto y sobrante en los demás, por lo que, se procede a cuantificar las semanas en las cuales se presenta necesidad de cilindros vacíos para cubrir el requerimiento, la cantidad de envases que estas diferencias negativas representan y la estimación monetaria. Dicho análisis se realiza a partir del supuesto de que los cilindros faltantes corresponden a los SKU con mayor porcentaje de ventas. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 25.

Tabla 25

Cuantificación de cilindros faltantes

Tipo de producto	Semanas con faltantes	Cilindros	Precio	Total
Argón	28,6%	93	₪138 180	₪ 12 850 740
Dióxido de carbono	0,0%	0	₪73 605	-
Nitrógeno	71,4%	252	₪57 750	₪ 14 553 000
Oxígeno	42,9%	875	₪57 750	₪ 50 531 250

De lo anterior, se determina que la capacidad instalada en las líneas de producción es suficiente para cubrir la demanda; sin embargo, al incluir el análisis de los cilindros vacíos necesarios para ejecutar el proceso, se encuentra que la cantidad disponible es insuficiente, lo que genera roturas directamente relacionados con la política de inventarios actual, así como pérdida de ventas potenciales de hasta ₪77 934 990, las cuales son abarcadas actualmente mediante el uso de horas extra, lo cual se analiza en la subsección 2.11.4 y el envasado de los cilindros vacíos disponibles.

Por otra parte, se obtiene un sobrante total de cilindros de 399 para Ar, 2 116 para CO₂, 42 para N₂ y 768 para O₂, los cuales la organización actualmente llena sin analizar si forman parte del requerimiento de demanda o no. Se realiza un estudio para analizar el impacto generado si estos no se llenaran, se considera la capacidad de almacenamiento de cilindros vacíos, la cual corresponde a 36 para Ar y N₂, 72 para CO₂ y 216 para O₂ y se determina que, semanalmente se supera la capacidad en 28,6% y 71,4% para Ar y CO₂ respectivamente. Esto excedentes podrían saturar el espacio físico de la planta, dificultando la ejecución de tareas de valor agregado.

2.11. Evaluación de indicadores actuales

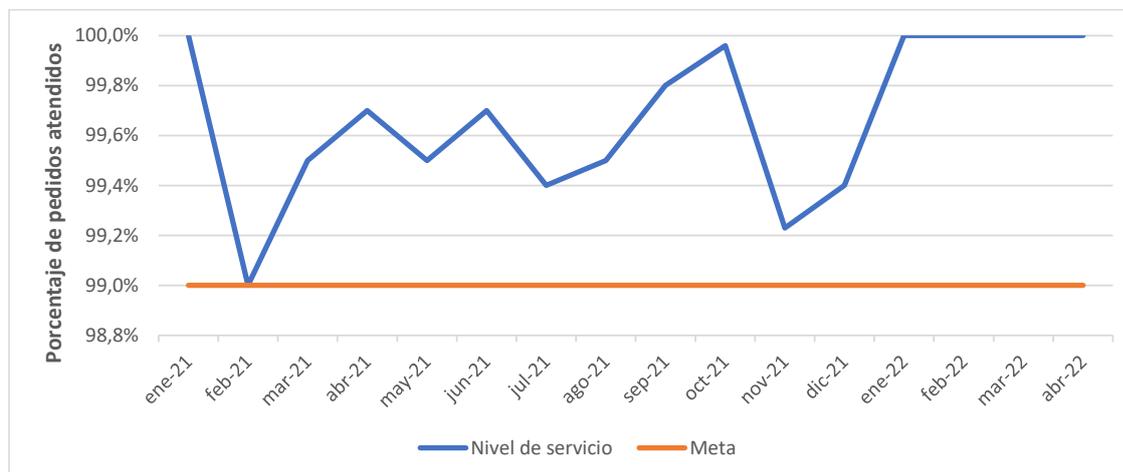
Según los autores Prado et al. (2020) para realizar la medición del desempeño se requiere de recopilar información sobre la situación y comportamiento del sistema productivo, para esto, la empresa tiene definido tres indicadores clave: Nivel de servicio, número de quejas de los clientes y porcentaje de merma en el envasado de gases. Se procede a analizar cada uno de estos, el cumplimiento histórico y pertinencia.

2.11.1. Nivel de servicio

Este indicador mide la cantidad de pedidos que se logran atender contra los recibidos, la empresa tiene como meta cumplir con el 99,0% de las órdenes de los clientes, se busca que la única razón por la que no se atienda un pedido sea debido a que la empresa no ofrece el servicio o el tipo de gas que se consulta. En la Figura 23 se presenta el cumplimiento histórico del nivel de servicio.

Figura 23

Porcentaje de pedidos atendidos del total ingresado al sistema



Al evaluar los datos, se cumple con la meta en la totalidad de los meses bajo estudio, el promedio obtenido es de 99,7% con una desviación de 0,3%, al analizar el límite inferior se encuentra que no se infringe la meta, lo que evidencia que esta es alcanzable y adecuada a la capacidad de respuesta. Se concluye que la empresa tiene un nivel de servicio adecuado y se atiende apropiadamente las órdenes de los clientes.

La empresa establece que este indicador es clave para valorar el rendimiento del sistema productivo, sin embargo, al analizar cómo se estima, se encuentra que incluye órdenes de la totalidad de los productos y servicios, por lo que incorpora pedidos que no son resultado de la producción en la planta. Para replantearlo, se debe comparar la cantidad de pedidos de los gases envasados en la organización contra la cantidad atendida, excluyendo los que no sean producto del envasado.

2.11.2. Número de quejas de los clientes

Este indicador representa el incumplimiento de la expectativa del cliente, actualmente incluye las quejas reportadas de todos los productos que ofrece la organización. Se examinan las quejas de enero 2021 a abril 2022 y se encuentra que 9 de las 36 existentes se relacionan a la familia de los gases. Al estudiar el comportamiento, se determina que la empresa cumple la meta establecida de 0 quejas mensuales en el 64,3% de los meses bajo estudio.

Las quejas se asocian a: Cilindros con fugas en la válvula, entrega de envases vacíos, cilindros deteriorados, contaminación del gas y errores en el etiquetado de producto. Para la resolución se busca en el registro el número de envase, fecha de producción, lote, encargados y día de venta, además, se determina la causa de la problemática y que no haya afectado más productos o esté relacionado con un fallo global. Este indicador permite a la empresa conocer a detalle si los productos que ofrece cumplen con los requerimientos y expectativa de los clientes, por lo que se considera apropiado de medir.

Si la inconformidad procede, se debe realizar la reposición de los cilindros involucrados, por lo que la empresa debe asumir este costo. Para los productos de categoría A, los costos van desde ₡1 906 hasta ₡7 621, adicionalmente se debe sumar el costo por

transporte hasta la ubicación del cliente, que varía de acuerdo con la distancia, y el costo por reparación o mantenimiento.

2.11.3. Desperdicios de materia prima

Este indicador se basa en la medición del porcentaje mensual de desperdicio generado en el llenado de cilindros, mide el consumo en el tanque y lo compara contra la cantidad de producto ingresada en los envases. Se busca que los valores de merma no sobrepasen las siguientes metas: 1,0% para O₂, 5,0% para CO₂, 10,0% para Ar y 15,0% para N₂.

A pesar de que los cuatro gases cumplen con la meta en la totalidad de los meses bajo estudio, los resultados reflejan estar alejados de lo esperado, por lo que se procede a analizar estadísticamente los datos obtenidos. Para esto, se hace una prueba de normalidad a los datos y se procede a calcular los límites de control del porcentaje de merma por producto, que según Vilar (2005), al establecer los límites, superior e inferior, usar 3 desviaciones estándar del promedio permite definir los parámetros entre los que se encontrarán más del 90,0% de la totalidad de los datos.

Para el CO₂, Ar y N₂, al analizar los límites de control inferior (LCI) y los límites de control superior (LCS), se establece que la meta no es representativa de los valores reales del proceso, ya que se sobreestima la cantidad de desperdicio generado, ocasionando un cumplimiento del 100,0% en todos los meses para los valores permitidos, por lo que la meta debe ser redefinida. Mediante el análisis de los límites de control, se puede definir un valor que sea alcanzable según el comportamiento histórico, de tal manera que el incumplimiento pueda ser detectable y representativo. Esta podría replantarse a 2,0% para CO₂, 3,0% para Ar y 2,0% para N₂, dichos porcentajes se obtienen a partir del LCS.

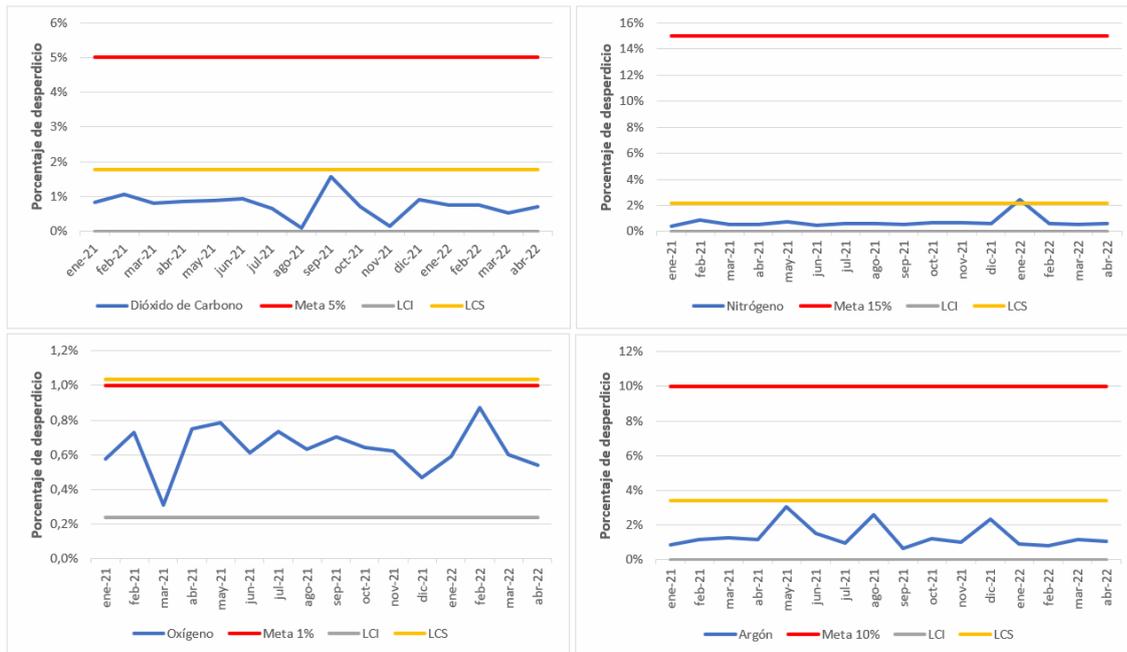
En el caso del O₂ la meta se aproxima al LCS, por lo que la merma generada sí puede alcanzar dicho valor, al examinar el comportamiento se tiene la capacidad de cumplirla y se deduce que está definida correctamente, ya que se busca que los desperdicios se mantengan por debajo del nivel mayor esperado, por lo que se puede continuar con la meta de 1,0% para este gas.

La diferencia entre la meta y los valores obtenidos se debe a que no se han actualizado desde la fundación de la empresa en Costa Rica, se definieron por la casa matriz usando como referencia la frecuencia de envasado, es decir, si un producto se llena más que otro tendrá una meta más estricta. Para replantearla se debe analizar los datos históricos, considerar el rendimiento y el estado de cada línea.

Cabe destacar que, el método de cálculo para este indicador se basa en medir la diferencia entre el consumo en el tanque contra la cantidad depositada en los cilindros. Además, la estimación de merma se realiza tomando el consumo en el tanque contra el llenado total mensual, por lo que se conoce cuánta merma se genera en el mes, pero no la generada diariamente. En la Figura 24 se observan los resultados históricos del porcentaje de cumplimiento de mermas para los productos bajo estudio, los LCI y LCS.

Figura 24

Porcentaje de error, límites de control y meta para CO₂, N₂, O₂ y Ar



2.11.4. Otros indicadores

Para la actividad de estimación del presupuesto, se busca que el error de pronóstico no signifique más del 5,0% de las ventas totales. Este ha sido definido bajo las condiciones de la casa matriz ubicada en Guatemala y propuesto desde la fundación de la sede en Costa Rica, por lo que no toma en cuenta el comportamiento del sistema productivo de la planta ni los datos históricos que respalden si esta meta puede ser alcanzada o si ha sido definida objetivamente. Por otra parte, la organización no la estima ni utiliza para la toma de decisiones.

Se analizan las horas extra como otro indicador, al calcular la incidencia desde enero de 2021 hasta abril de 2022, se encuentra que la empresa suele pagar en promedio $153,5 \pm 41,9$ horas extra por mes, lo cual representa ₡332 157, comparado con el salario para los operarios de ₡356 000, las horas extra por mes significan el 93,3% del salario de un operario; es decir, se necesitaría únicamente de ₡23 843 adicionales por mes para contratar un nuevo trabajador que aumentaría las horas persona disponibles.

En cuanto al total generado, se incurre en 2 456 horas extra, es decir un total de ₡5 314 515. En la subsección 2.6 se analiza el origen de los desperdicios, donde se encuentran como principales causas generadoras de horas extra a la falta de cilindros vacíos para ejecutar el envasado, los picos de producción, atrasos en la llegada de la materia prima y la distribución actual de tiempo que se realiza para responder a los requerimientos.

Este análisis presenta la dificultad de que se desconoce el motivo de las horas extra del histórico, por lo que no se puede asegurar que se incurre a estas por errores en la planificación, distribución de recursos, atrasos o falta de cilindros vacíos. Para conocer el impacto en horas extra, es necesario que se inicie con la anotación del motivo del porqué se incurre en estos recursos adicionales.

Se destaca que no se cuenta con indicadores para medir los resultados obtenidos en la producción ni el rendimiento, por lo que no se genera la información suficiente para la toma de decisiones sobre el sistema productivo. Se procede a realizar una investigación entre diversos autores reconocidos para definir otros indicadores que la empresa puede medir y que serán insumos para la toma de decisiones posterior.

2.12. Medición de indicadores recomendados

La empresa carece de indicadores que midan el rendimiento de las actividades productivas, por lo que se consultan autores reconocidos en el tema como Gómez y Brito (2020), Heizer y Render (2007), Sipper y Bulffin (1998), Cruz (2017) y Chase et al. (2009) para establecer los indicadores recomendados. La demostración de los cálculos para cada indicador se muestra con detalle en el Apéndice 12.

2.12.1. Productividad

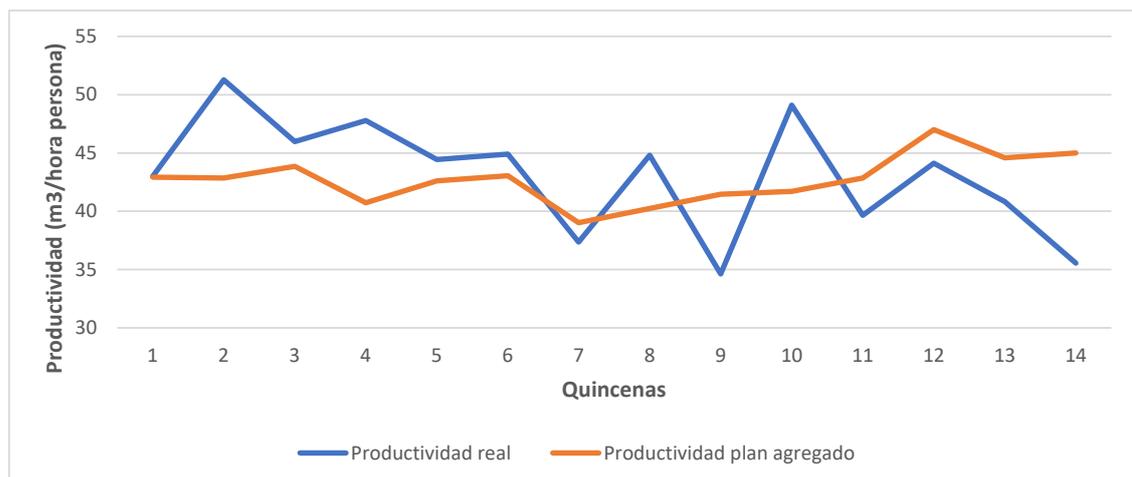
Según Chase et al. (2009), la productividad da una medida del uso de los insumos en la producción y se debe comparar contra otro factor para poder inferir si está bajo un comportamiento esperado. Se decide estimarla dividiendo los metros cúbicos envasados entre las horas persona dedicadas, se calcula para las quincenas de enero a julio de 2021, y se realiza bajo dos enfoques, estimando la productividad real y calculando la productividad al utilizar el plan agregado propuesto.

Al analizar la productividad real, se determinan las desviaciones entre un periodo y otro, los máximos de productividad implican llenar a una tasa mayor, lo que ocasiona tener que asumir un ritmo de producción más estricto, mientras que, los mínimos corresponden a envasar a una tasa menor, lo que genera capacidad ociosa.

Por otra parte, al analizar este indicador utilizando el plan agregado, se obtienen resultados con menor variabilidad. Al redistribuir la demanda de manera nivelada, se disminuyen los picos, de manera que, se utilizan las horas persona con una productividad constante. Se aumenta la productividad promedio en un 7,1%; es decir, se da una mejor utilización del tiempo disponible, y además, la desviación entre un periodo a otro se disminuye un 54,1%. Los resultados se observan en la Figura 25.

Figura 25

Productividad escenario real vs propuesto basado en el plan agregado



2.12.2. Utilización de la capacidad instalada

Según los autores Heizer y Render (2007) una planificación de la producción que aprovecha al máximo los recursos a disposición debe mantener una alta utilización, por lo que se debe enfocar en alcanzar un nivel que aproveche la salida teórica del equipo y que logre cumplir con la demanda requerida, y además no comprometa la capacidad de respuesta.

Para este indicador se realiza el análisis bajo dos escenarios, primero, utilizando la distribución empleada, de modo que se estudia la utilización histórica, y segundo, empleando la distribución propuesta a raíz del plan agregado. Se realizan los cálculos para las primeras 28 semanas de 2021. Los resultados se presentan en la Tabla 26.

Tabla 26

Utilización de la capacidad

Centro de trabajo	Distribución real (%)	Distribución plan agregado (%)
Oxígeno	62,9 ± 13,9	54,4 ± 4,2
Dióxido de carbono	20,7 ± 3,2	18,7 ± 1,5
Nitrógeno y argón	37,1 ± 5,6	31,6 ± 2,7

Al analizar los resultados obtenidos, se encuentra que la utilización se mantiene por niveles inferiores al 65,0%, por lo que no se generan faltantes de capacidad en ninguno de los periodos bajo estudio. Al sumar la desviación esperada no se sobrepasa el límite de 100,0%, por lo que la capacidad instalada actual es suficiente para cumplir con el requerimiento. Existe la posibilidad de crecimiento y de abarcar más demanda, sin embargo, el sistema productivo depende también de la cantidad de cilindros disponibles y los niveles de materia prima.

Al comparar la distribución empleada contra la propuesta nivelada, se encuentra que se logra reducir para los tres centros de trabajo la desviación, de modo que los picos de producción se minimizan. Para el O₂ se reduce en un 69,0%, para el CO₂ un 55,0% y para el tercer centro de trabajo, el cual es el encargado de N₂ y Ar, un 52,0% por lo que se pueden controlar estas variaciones al ejecutar una planificación nivelada.

2.12.3. Eficiencia

La eficiencia cuantifica cómo se aprovecha la salida teórica de un proceso, esta se obtiene por medio de un estándar fijo o basado en una tasa de diseño de ingeniería (Chapman, 2006). Se calcula dividiendo la tasa de producción actual entre la tasa estándar que se podría entregar en el lapso disponible, lo que busca medir es la eficiencia del proceso productivo, comparado el resultado real contra lo que este podría entregar al trabajar en condiciones ideales. Los cálculos fueron realizados para las primeras 28 semanas del 2021 y los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 27.

Tabla 27

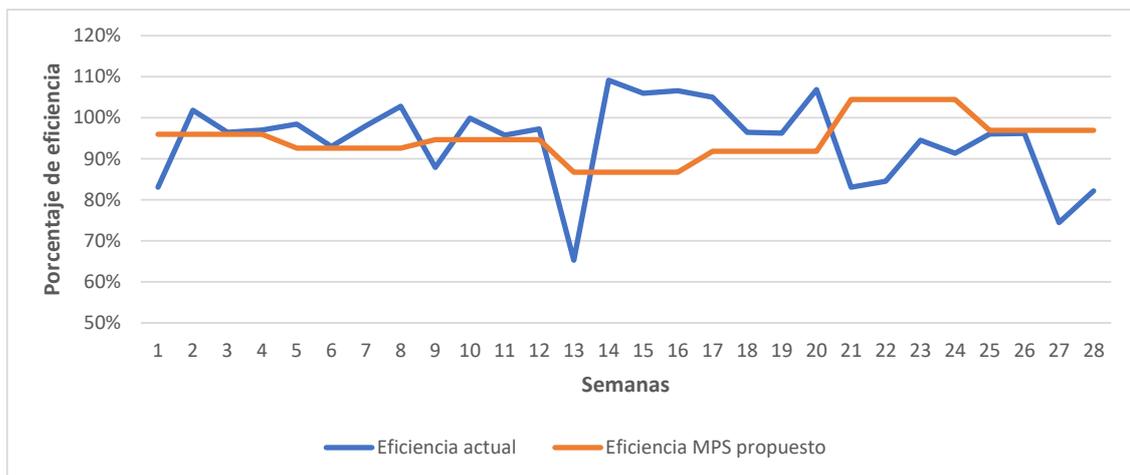
Eficiencia

	Promedio (%)	Desviación (%)
Distribución real	94,5	10,2
Distribución plan agregado	94,7	5,1

Con la distribución actual la desviación es de 10,1%, esto implica que existen ocasiones en que la eficiencia llega a valores menores de 85,0% y superiores al 100,0%, por lo que se tienen semanas en las que se desaprovecha la salida de las máquinas, y otras en las que se tiene que recurrir a recursos extra, ya que no ajusta el tiempo disponible. Al redistribuir la producción basándose en el plan agregado propuesto, se logra mantener una eficiencia promedio del 94,7% con una desviación de 5,1%, por lo que la eficiencia tiene un rango reducido y mantiene niveles constantes. Esta diferencia se presenta en la Figura 26.

Figura 26

Eficiencia escenario real vs propuesto basado en el MPS



Al ejecutar la producción basándose en el plan agregado nivelado, se obtiene un comportamiento con menor desviación, haciendo que los picos de producción se disminuyan y los datos se aproximen al promedio, minimizando los tiempos ociosos y la necesidad de recursos extra.

2.13. Conclusiones del diagnóstico

A partir de la evaluación de los procesos de estimación de la demanda, planificación de la producción, capacidad e inventarios, requerimiento de materiales, programación y seguimiento y control del desempeño, se realiza un análisis de brechas, de tal manera que se cuantificase el cumplimiento contra buenas prácticas, debido a que no se mantiene un estándar. Con los análisis realizados, se encuentra que existen brechas de cumplimiento en promedio de 20,6%, lo cual se considera un nivel crítico, ya que los lineamientos son pertinentes al proceso bajo estudio y al incorporarlos se encuentran mejoras en el desempeño, además, diferencias al 100,0% son consideradas oportunidades de mejora. Se infiere que, el incumplimiento del 79,4% muestra la necesidad de estandarizar e incorporar conceptos técnicos al procedimiento como el uso de un modelo estadístico para la estimación de la demanda, MPS, gestión de capacidad, técnicas de programación y análisis de las políticas de inventario, con el fin de eliminar el factor de método empírico y criterio experto.

Además, a los métodos de ejecución de los procesos enlistados anteriormente, se les realiza un análisis de valor agregado, de modo que se identificasen las tareas que agregan y no agregan valor al proceso y que se puedan eliminar o modificar, de manera que sean de provecho para la organización. En cuanto a las tareas de valor agregado

se obtiene un promedio de 59,3% y las de no valor agregado evitable e inevitable de 25,4% y 15,3% respectivamente. Se comprende que, al complementar este análisis con las brechas encontradas, se podría disminuir la cantidad de tareas que no agregan valor y son evitables mediante la aplicación de los lineamientos pertinentes, minimizando el desperdicio.

En relación con la evaluación de los métodos de trabajo de los procesos de envasado de cada gas, se encuentra que para estos sí se mantienen documentados y se cuenta con un estándar, por lo tanto, se realiza un estudio de las diferencias mediante la comparación de los métodos documentados, ejecutados y el estándar, de tal manera que se cuantificaran las diferencias encontradas y el impacto generado. Al evaluar los métodos contra el estándar, se encuentra que mantienen porcentajes de similitud en promedio de 88,0% y 91,0% para el documentado y el ejecutado actual respectivamente, por otra parte, al evaluar los métodos entre sí se encuentra que mantienen diferencias, principalmente relacionados al orden ejecución y cantidad de tareas que los conforman. Se concluye que, es necesaria la estandarización del proceso de tal manera que lo documentado sea equivalente a lo ejecutado, lo que podría disminuir las desviaciones de tiempo de ejecución entre operarios y así permitir una mejora en la planificación, además, para alcanzar una similitud del 100,0% contra el estándar de la casa matriz, se debe incluir la actividad de inspección inicial y cambio de banco.

Con respecto a la determinación de causas asociadas a los desperdicios en los procesos bajo estudio, se ejecuta un análisis del error de pronóstico actual para la cuantificación del error MAPE y el cumplimiento respecto a la meta establecida por la organización, además se realiza una evaluación objetiva de los resultados mediante la generación de estimaciones con un modelo estadístico ajustado. Como resultado, se obtiene que el error MAPE de la empresa sobre las ventas totales alcanza un 7,8% lo cual representa un total de ₡403 472 545. Al generar estimaciones de la demanda que se ajusten a los componentes sistemáticos se disminuye a un error de 3,2% lo cual se traduce en ₡167 378 799. De lo anterior se infiere que, con un ajuste en el método de trabajo del proceso de pronósticos se puede disminuir el error significativamente, lo cual abre paso a una mejor planificación tanto de la producción como de los recursos a utilizar para cubrir el requerimiento de la demanda.

Además, se realiza un análisis del impacto generado por el desconocimiento de los tiempos estándar de ejecución, para ello se elabora un estudio de tiempos guía a partir del cual se determinase los tiempos de ciclo por proceso y, por ende, la capacidad real de la organización, esta última se analiza mediante el estudio de la planificación de capacidad actualmente utilizada contra la requerida, para determinar si es suficiente o no. La capacidad con la cual planifica la organización actualmente difiere de la real hasta en un 13,4%, lo que genera que se tengan roturas de inventario por semana en al menos un gas y capacidad ociosa en los restantes, con una reestructuración de los tiempos destinados a la producción de cada gas, se disminuyen las roturas en un 85,7% lo que genera 2,7 semanas al año de capacidad adicional en la planta de producción que podrían ser utilizadas para atender las fluctuaciones en la demanda y disminuir la cantidad de roturas de inventario. De los resultados obtenidos, se infiere que para las 28 semanas analizadas se podrían disminuir las horas extra del equipo de producción hasta en 86,2% lo cual representa un ahorro de hasta ₡220 900 aproximadamente.

La capacidad instalada se limita al inventario de cilindros vacíos disponibles para cubrir con el requerimiento, por lo tanto, se estudia la pertinencia del método actual de planificación de inventarios y las implicaciones a nivel operativo y financiero, para ello se compara la cantidad de cilindros disponibles semanalmente contra los necesarios, de tal manera que se cuantificaran las roturas y sobrantes de cilindros para cada gas, se encuentra que la política de inventarios actual genera faltantes en tres de los cuatro productos bajo estudio, donde el mayormente impactado corresponde a N_2 con un 71,4%, por lo tanto, se infiere que con una modificación de dicha política más un cambio en la planificación actual de la producción y capacidad, se podría evitar o nivelar el incumplimiento del plan de producción en Ar, N_2 y O_2 y el exceso de inventarios en CO_2 , además, las semanas adicionales obtenidas vía planificación, se ven restringidas por la capacidad de cilindros, con lo cual, la empresa debe valorar el aumento en la cantidad de envases.

En cuanto a los niveles de desempeño de los métodos de trabajo, se evalúan los indicadores recomendados por la literatura mediante la medición de aquellos que se consideran pertinentes según el sistema de planificación y control bajo estudio, para ello se procede a calcular la productividad, utilización y eficiencia reales y propuestas. Como resultado, al ejecutar una planificación adecuada se obtiene un incremento de 7,1% y 0,3% en la productividad y eficiencia respectivamente, y se reduce el porcentaje de utilización hasta en un 13,6%. De los tres indicadores, se logra la estabilización de la desviación estándar de los datos haciendo que el desempeño mantenga niveles más constantes. Con esto se infiere que, con una planificación estructurada se podrían minimizar los niveles de variabilidad de la producción, de modo que se disminuya el uso de horas extra, además, se obtengan beneficios respecto al bienestar de los operarios y se dé una mejor utilización de los recursos. Finalmente, la incidencia en horas extra se relaciona a errores en la planificación y no a insuficiencias de capacidad, ya que con una distribución adecuada se cumple con el requerimiento de demanda actual.

Capítulo 3. Diseño

3.1. Objetivo general

Desarrollar un sistema integrado de planificación y control de la producción para la empresa INFRA GI de Costa Rica, que permita la unificación de los flujos físicos y de información, a partir de las oportunidades de mejora y fortalezas identificadas en la evaluación del estado actual, con el fin de minimizar la incidencia de los desperdicios.

3.2. Objetivos específicos

1. Diseñar los métodos de trabajo que conforman el sistema de planificación y control de la producción con el fin de alcanzar niveles constantes en la ejecución de los procesos.
2. Desarrollar una aplicación de soporte a la ejecución a los procesos diseñados que permita la sostenibilidad en los métodos de trabajo.
3. Diseñar el proceso de seguimiento y control de la producción mediante un marco metodológico que permita medir el desempeño.

3.3. Metodología de trabajo

En la Tabla 28 se presenta la metodología a seguir, con el fin de alcanzar cada uno de los objetivos específicos anteriormente planteados.

Tabla 28

Metodología de trabajo del diseño

	Actividades	Herramientas	Producto esperado
Objetivo específico 1	Elaboración de los métodos para cada uno de los procesos y las relaciones.	<ul style="list-style-type: none"> • Mapeo de procesos. • Manual de puestos y procedimientos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Procesos, procedimientos y puestos diseñados.
	Reestructuración de los métodos documentados actuales de los procesos productivos.		
	Medición de los tiempos estándar de los procesos productivos.	<ul style="list-style-type: none"> • Estudio de tiempos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tiempos estándar de ejecución de los métodos de trabajo.
Objetivo específico 2	Definición de la estructura general de la aplicación.	<ul style="list-style-type: none"> • Ingeniería de requerimientos. • Revisión bibliográfica. 	<ul style="list-style-type: none"> • Requerimientos funcionales.
	Programación de cada módulo de trabajo.	<ul style="list-style-type: none"> • Herramientas de soporte de ofimática. 	<ul style="list-style-type: none"> • Herramienta ofimática.
	Elaboración del procedimiento de uso de la aplicación.	<ul style="list-style-type: none"> • Manual de usuario. 	<ul style="list-style-type: none"> • Procedimiento de uso.

Tabla 28*Metodología de trabajo del diseño (continuación)*

Objetivo específico 3	Definición de los métodos para la medición de los indicadores.	<ul style="list-style-type: none"> • Mapeo de procesos. • Manual de puestos y procedimientos. • Modelo Scorecard. 	<ul style="list-style-type: none"> • Proceso, procedimientos y puestos diseñados.
	Definición de los indicadores, responsables y la ejecución de las tareas.	<ul style="list-style-type: none"> • Revisión bibliográfica. • Manual de procedimientos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Perfil de procedimientos.
	Creación de un panel de control para los indicadores.	<ul style="list-style-type: none"> • Cuadro de mando. • Gráficos de control. 	<ul style="list-style-type: none"> • Panel de control de indicadores.

3.4. Diseño de los procesos de planificación

A partir de las oportunidades de mejora identificadas en el diagnóstico, se procede a diseñar los métodos documentados para los procesos que conforman el sistema de planificación y control de la producción, para ello se enumeran las actividades de los procesos, se elabora un diagrama SIPOC con el fin de evidenciar la relación de entradas y salidas que conforman el sistema integrado propuesto, además, se realizan cursogramas analíticos a nivel de tareas y fichas de procedimiento para cada proceso las cuales se muestran en el Apéndice 13, además, la descripción de la simbología utilizada en los cursogramas elaborados se presenta en el Anexo 2.

3.4.1. Estimación de la demanda

El sistema propuesto inicia con el proceso de estimación de la demanda, por lo tanto, se debe comprender que “Un pronóstico es una predicción de acontecimientos futuros que se utiliza con propósitos de planificación” (Krajewski et al., 2008, p. 522). El procedimiento descrito se basa en los autores Chopra y Meindl (2008), Heizer y Render (2007) y Sipper y Bulfin (1998), para lo cual, se consideran los lineamientos y se ajustan al contexto de INFRA GI de Costa Rica.

Inicialmente, se plantea el objetivo de los pronósticos a realizar, el cual debe comprender aspectos como el marco de tiempo, nivel de detalle, exactitud necesaria y número de aspectos a pronosticar (Chopra y Meindl, 2008). En este caso, el objetivo corresponde a estimar la demanda para los productos de Ar, CO₂, O₂ y N₂, con el fin de cuantificar la cantidad a producir de dichos gases y orientar a los procesos de producción, capacidad y programación. Además, al ser el objetivo obtener un número estimado de unidades con el fin de llevar a cabo la planeación de ventas, producción y el establecimiento de niveles de mano de obra, inventario y futuros planes operativos, se determina un horizonte de un año (Heizer y Render, 2007).

Este proceso debe estar integrado con la planificación de capacidad y producción, además, se debe vincular con la administración de los recursos humanos; según Chopra y Meindl (2008) diversas funciones se ven afectadas por los resultados de los procesos de planeación. Para lograr dicha integración, la empresa debe conformar un equipo interfuncional con miembros de las áreas afectadas por el pronóstico de la demanda, en

el caso de INFRA GI de Costa Rica corresponden a: Compras, Ventas, Producción y Distribución, este equipo se encarga de la ejecución de la etapa de pronóstico colaborativo.

Se deben estudiar los componentes de nivel, tendencia o estacionalidad, debido a que este análisis permite la definición del modelo de pronóstico adecuado, en este caso se utilizan las características de la curva obtenidas en la etapa de diagnóstico, las cuales corresponden a estacionalidad y nivel para los cuatro gases bajo análisis.

Cabe destacar que, las actividades de integración del equipo interfuncional, la definición del objetivo y el estudio de los componentes sistemáticos se ejecutan anualmente, debido a que no se esperan cambios significativos en la estructura organizacional de la empresa ni en el objetivo de los pronósticos de manera constante. Además, el análisis de los componentes sistemáticos permite evaluar la variación del modelo de pronóstico definido. En la Figura 27 se presenta el diagrama SIPOC del proceso.

Figura 27

SIPOC para proceso de estimación de la demanda

S	I	P	O	C
Procesos de producción, ventas, compras y distribución.	Datos de demanda.	Extracción de los datos de demanda. Análisis y agregación de los datos de demanda. Ejecución del modelo de pronóstico. Medición del error de pronóstico.	Pronósticos semanales de la demanda.	Proceso de planificación de la producción.

Seguido, se describen las actividades definidas en el diagrama SIPOC.

a. Extracción de los datos de demanda

Los datos por utilizar deben ser basados en la demanda real y no en un registro de ventas, debido a que es necesario incluir los pedidos que no fueron cubiertos porque el producto no estaba disponible. Se deben tomar los datos generados en los reportes de ventas, pedidos y de distribución, y recopilarlos de tal manera que sea posible el análisis, los datos se deben utilizar en unidades de m³ y por tipo de producto de manera semanal.

b. Análisis y agregación de los datos de demanda

Previo al análisis principal, los datos atípicos deben ser eliminados para cada uno de los gases, mediante una prueba que permita identificar extremos de demanda debido a eventos fuera de lo común (Sipper y Bulfin, 1998). Para la identificación, se utilizan gráficos de cajas y bigotes, ya que según Pelea (2019) la mediana y el rango intercuartil, no son sensibles a la presencia de valores atípicos, por lo que cualquier valor que se encuentre por fuera de los límites del gráfico, son considerados atípicos.

Por otro lado, para corregir estos valores, se utiliza el método de interpolación, el cual según Fallas (2007) tiene como propósito estimar un dato entre dos valores conocidos,

esto mediante el cálculo de un factor de proporcionalidad. En este caso, se debe corregir el valor atípico a partir del dato anterior y posterior a este.

Es importante en este punto, que los factores externos sean considerados en el análisis y realizar los ajustes correspondientes en caso de que apliquen, por ejemplo, se debe tomar en cuenta la economía, competencia y eventos que pudiesen afectar la demanda de los gases. Por otro lado, los factores internos como proyectos, la captación de nuevos clientes, la reducción de la cartera o el cambio en el precio final deben ser considerados en el análisis (Sipper y Bulfin, 1998).

Finalmente, el jefe de planta debe agregar la curva de datos debido a que, según Chopra y Meindl (2008 p. 188): “Los pronósticos agregados son más precisos que los desagregados, ya que tienden a tener una desviación estándar menor del error con relación a la media”. Para ello, se deben sumar los datos de demanda de cada gas para obtener la totalidad.

c. Ejecución del modelo de pronóstico

Inicialmente, se determina que la organización debe emplear un método cuantitativo para realizar las proyecciones de la demanda, específicamente modelos de series de tiempo, debido a que, emplean datos históricos, patrones de crecimiento y estacionalidades para predecir lo que sucederá en el futuro, es decir, “observan lo que ha ocurrido durante un periodo determinado y usan una serie de datos históricos para hacer un pronóstico” (Heizer y Render, 2007, p. 123). Con el fin de identificar los componentes sistemáticos de la demanda mediante la serie de datos históricos, se utiliza un pasado de tres años.

A partir de los componentes sistemáticos identificados en la etapa de diagnóstico, se determina el modelo a utilizar para pronosticar, específicamente Winters Doble debido a que realiza una suavización de los datos añadiendo multiplicadores estacionales al modelo de suavización exponencial con tendencia lineal, posibilitando analizar la demanda que cuenta tanto con un componente estacional como de tendencia (Hopp y Sperman, 2008). En el Apéndice 13 se detallan los cálculos del modelo.

Como siguiente tarea, se debe ejecutar el pronóstico colaborativo, el cual consiste en validar e implantar los resultados; para ello, el equipo interfuncional debe revisar los resultados para asegurar la validez del modelo, las suposiciones, los datos y realizar ajustes de ser necesario (Heizer y Render, 2007). Además, las proyecciones de la demanda deben de ser ajustadas cada semana a partir del comportamiento del periodo anterior.

d. Medición del error de pronóstico

Para una adecuada ejecución del proceso de estimación de la demanda, la empresa debe aplicar medidas de error para evaluar el modelo, ya que, la precisión se puede determinar a partir de la comparación de los valores reales contra los pronosticados (Chopra y Meindl, 2008; Heizer y Render, 2007). Para la ejecución de esta actividad se debe hacer uso de la métrica MAPE, que permite medir la exactitud de los pronósticos realizados.

Además, se debe establecer una meta con el fin de proporcionar exactitud y niveles de cumplimiento o incumplimiento que permitan monitorear el proceso cuando se sale de

los límites de control, en este caso, la organización tiene definida la meta del $\pm 5,0\%$ sobre las ventas totales. Finalmente, el proceso propuesto está conformado por seis actividades, en la Figura 28 se muestra el desglose de ejecución por tarea.

Figura 28

Método de ejecución propuesto para la estimación de la demanda

Cursograma analítico											
Objeto: Método de ejecución propuesto del proceso de estimación de la demanda		Actividad	Propuesta					Actual			
Proceso: Estimación de la demanda Método: Propuesto		Operación	10					-			
		Inspección y Medición	0								
		Operación e Inspección	4								
		Transporte	0								
		Entrada de bienes	0								
		Almacenamiento	0								
		Total	14								
Actividades	Descripción	Símbolo						AVA	NVA		
		○	□	◻	➔	▽	△		Evitable	Inevitable	
Extracción de los datos de demanda.	Recopilación de los reportes de ventas y pedidos.	●						X			
	Extracción de los datos de demanda por tipo de producto.	●						X			
	Agrupación de los datos semanales.	●						X			
Análisis y agregación de los datos de demanda.	Eliminar datos atípicos de los reportes de demanda.	●						X			
	Análisis de factores externos.			●				X			
	Análisis de factores internos.			●				X			
	Agregación de la curva de datos.	●						X			
	Graficación de los datos.	●						X			
Ejecución del modelo de pronóstico.	Cálculo del nivel, tendencia y estacionalidad.	●						X			
	Ajuste de las constantes.	●						X			
	Generación de las proyecciones incluyendo el factor móvil del modelo.	●						X			
	Ejecución del pronóstico colaborativo.			●				X			
Medición del error de pronóstico.	Cálculo del error.	●						X			
	Comparación respecto a la meta.			●				X			
		Total	10	0	4	0	0	0	100%	0%	0%

3.4.2. Planificación de la producción

La planificación de la producción se da en dos etapas, inicialmente la planificación agregada, la cual determina los niveles de producción e inventario en un horizonte de tiempo y resuelve los problemas a nivel agregado en lugar de unidades (Chopra y Meindl, 2008). La segunda etapa, corresponde a la elaboración de un plan maestro de producción, el cual cumple la función de detallar la cantidad de elementos finales que se producirán en periodos específicos (Krajewski et al., 2008).

En este proceso, es necesario definir el periodo de planificación, de acuerdo con Hopp y Spearman (2008), el horizonte de tiempo comúnmente utilizado para la elaboración de un plan agregado de producción es de uno a tres años y según Stadler et al. (2015) indica que es recomendable utilizar periodos semanales o mensuales para la planificación maestra de la producción. En la Figura 29 se presenta el diagrama SIPOC del proceso.

Figura 29

SIPOC para proceso de planificación de la producción

S	I	P	O	C
Proceso de estimación de la demanda.	Pronósticos de la demanda.	Elaboración del plan agregado de producción. Elaboración del plan maestro de producción.	Requerimiento semanal en metros cúbicos.	Proceso de planificación de la capacidad. Proceso de planificación de la capacidad a nivel operativo.

Seguido, se describen las actividades definidas en el diagrama SIPOC.

a. Elaboración del plan agregado de producción

Se procede a generar el plan agregado, el cual determina las cantidades a producir en un periodo de tiempo establecido (Hopp y Spearman, 2008), este plan debe incluir el inventario inicial, disponible, de seguridad y final, además, las cantidades a producir y las roturas de inventario generadas. Estas variables se deben definir por periodo, en este caso, se utiliza un horizonte de 12 semanas; sin embargo, los resultados se actualizan mensualmente según los pronósticos obtenidos.

Para definir el inventario inicial del primer periodo, se deben contar los envases disponibles en el cepo y convertirlos para obtener metros cúbicos. Para los demás, se debe utilizar la cantidad de cilindros restantes del periodo anterior en el plan agregado de producción. La variable demanda se completa utilizando los resultados de los pronósticos elaborados.

El IS se define como un 35,0% a 40,0% del espacio disponible, con el objetivo de cubrir las fluctuaciones de la demanda sin exceder el espacio de almacenamiento de la empresa, además, dicho valor no representa un riesgo debido a la alta rotación del inventario. Cabe destacar que, se define un porcentaje de inventario de seguridad cada cuatro semanas debido a que, con esta periodicidad, se abarca al menos un máximo de la demanda pronosticada.

Las cantidades por producir o el plan de producción se realiza de manera nivelada cada cuatro semanas, ya que el sistema de servicio definido corresponde a un híbrido con predominancia MTS, además, de la estabilidad identificada en la demanda. Esta variable se obtiene con la suma de la demanda de cuatro periodos, menos el inventario inicial, más el inventario de seguridad. El resultado obtenido, se distribuye entre los periodos nivelados y así se obtiene el plan de producción para cada semana, cabe destacar que la cantidad debe ser equivalente en cada periodo.

El inventario disponible se calcula mediante la suma del inventario inicial más el plan de producción, finalmente, el inventario final y las roturas corresponden a la diferencia del disponible menos la demanda, cabe destacar que, el objetivo del plan agregado nivelador corresponde a mantener como inventario final un número superior o igual al inventario de seguridad. Por otro lado, el análisis de las roturas de inventario se realiza mediante la consideración de los números negativos obtenidos, lo cual indica que, el

plan de producción y el inventario inicial no son suficientes para cubrir el requerimiento de ese periodo.

b. Elaboración del plan maestro de producción

El MPS se obtiene a partir de la desagregación del plan agregado, para ello, se consideran los resultados de la variable plan de producción y se distribuye por tipo de producto, este mantiene una periodicidad semanal, específicamente 12 semanas. Además, se debe estimar el porcentaje de distribución de demanda para cada tipo de gas, este porcentaje se calcula a partir de las ventas reales en m³ dividido entre el total de ventas de dicho gas. Al obtener un porcentaje de distribución semanal, se calcula el promedio y la desviación de los datos, esta media se multiplica por el plan de producción, obteniendo el requerimiento semanal.

El proceso propuesto está conformado por dos actividades, las cuales se desarrollan bajo la responsabilidad del jefe de planta. En la Figura 30 se muestra el desglose de ejecución por tarea.

Figura 30

Método de ejecución propuesto planificación de la producción

Cursograma analítico										
Objeto: Método de ejecución propuesto del proceso de planificación de la producción		Actividad	Propuesta					Actual		
Proceso: Planificación de la producción Método: Propuesto		Operación	7					-		
		Inspección y Medición	0							
		Operación e Inspección	1							
		Transporte	0							
		Entrada de bienes	0							
		Almacenamiento	0							
		Total	8							
Actividades	Descripción	Símbolo						AVA	NVA	
		○	□	◉	⇒	▽	△		Evitable	Inevitable
Elaboración del plan agregado de producción.	Calcular el inventario inicial.	●						X		
	Calcular el inventario de seguridad.	●						X		
	Calcular el plan de producción.	●						X		
	Calcular el inventario disponible.	●						X		
	Calcular el inventario final.	●						X		
	Calcular las roturas de inventario.	●						X		
Elaboración del plan maestro de producción.	Establecer el porcentaje de distribución de demanda por tipo de gas.			●				X		
	Obtener el requerimiento semanal por tipo de gas.	●						X		
Total		7	0	1	0	0	0	100%	0%	0%

3.4.3. Planificación de la capacidad

Esta planificación corresponde a una técnica que comunica las necesidades de capacidad relacionadas con los pedidos planificados (Pérez, 2007). En este caso, la planeación de la capacidad se visualiza a un horizonte de tiempo de corto plazo, ya que según Chase et al. (2009, p. 122) “está ligado al proceso de los programas diarios o semanales e implica efectuar ajustes para que no haya variación entre la producción planeada y la real”, además, este plantea la programación de trabajos, personas y maquinaria, y puede incluir horas extra, transferencias de personal y otras rutas de producción. El procedimiento descrito se basa en el autor Pérez (2007), en la Figura 31 se presenta el diagrama SIPOC del proceso.

Figura 31

SIPOC para proceso de planificación de la capacidad

S	I	P	O	C
Proceso de planificación de la producción.	Requerimiento semanal en metros cúbicos.	Cálculo de las horas requeridas por línea de producción. Cálculo de la capacidad necesaria por periodo. Cálculo de la capacidad adicional requerida. Cálculo de la mano de obra requerida.	Capacidad de horas requerida. Capacidad de mano de obra requerida.	Proceso de planificación de la capacidad a nivel operativo.

Para la ejecución de este proceso se utilizan los tiempos de ciclo calculados en la subsección 2.7, además, el tiempo disponible diario corresponde a 480 min de lunes a viernes y 255 min el sábado. El tiempo disponible semanal corresponde a 44 horas, de las cuales 15,47 horas corresponden a tiempos de alisto y 28,78 horas de tiempo efectivo, lo cual se obtiene a partir del histórico de producción. A continuación, se describen las actividades definidas en el diagrama SIPOC.

a. Cálculo de las horas requeridas por línea de producción

Una vez obtenidos los requerimientos de producción según el MPS elaborado, se debe determinar la carga en horas requeridas para cada una de las seis líneas de producción, para ello, se calcula el cociente de la cantidad de m³ entre la tasa de producción, con el fin de obtener el número de horas necesarias para envasar una unidad o banco.

b. Cálculo de la capacidad necesaria por periodo

Para esta actividad, se debe sumar las horas diarias requeridas por línea de producción para obtener la totalidad por semana, de tal manera que sea posible determinar si el tiempo disponible semanal es suficiente para cubrir el requerimiento. En caso de que el requerimiento supere la capacidad, se debe considerar que es posible producir hasta tres gases simultáneamente, para ello, se debe realizar una evaluación preliminar de la distribución de tiempo dedicado a cada uno de los gases durante el tiempo disponible, para lo cual, se deben identificar los tiempos de ciclo más extensos por periodo de planificación considerando los siguientes aspectos:

- a. Si se produce tanto Ar como N₂, se deben sumar los tiempos de ciclo, debido a que existe la restricción de no poder producir estos gases al mismo tiempo.
- b. Si se produce CO₂, con y sin sifón, sumar los tiempos de ciclo.
- c. El tiempo de ciclo de O₂ se debe comparar con los dos anteriores y el más extenso corresponde al tiempo total requerido por periodo; es decir, este resultado es el que se compara contra el tiempo efectivo disponible.

c. Cálculo de la capacidad adicional requerida

Una vez obtenido el tiempo total requerido y aplicada la evaluación preliminar, se debe verificar si el total requerido supera el disponible, y en caso de superarlo es necesario obtener la diferencia de horas para cubrir el requerimiento, esto se debe comparar

contra la capacidad de horas extra permitidas por la organización, la cual corresponde a 75 horas mensuales según la contraparte.

Para ajustar las necesidades a la disponibilidad de recursos, se debe seguir el plan de contingencia definido por el autor Pérez (2007), el cual indica se deben ajustar los órdenes de producción, mediante el desplazamiento de la cantidad de m³ a producir en los periodos que se sobrepasan las horas extra autorizadas a los días con menos carga de trabajo, esto permitirá ajustar la capacidad disponible y necesaria sin tener que incurrir en sobrepasar los límites de capacidad.

d. Cálculo de mano de obra requerida

Se debe determinar la cantidad de líneas de producción disponibles y la capacidad máxima de producción que corresponda al horizonte de tiempo bajo análisis. Además, es necesario conocer los operarios necesarios por línea para ejecutar la operación. Seguido, para obtener el porcentaje de utilización, se debe dividir el requerimiento entre la capacidad máxima calculada, y el resultado de esta estimación se multiplica por el personal necesario por línea, así obteniendo la mano de obra requerida. Este procedimiento se aplica a cada una de las cuatro líneas de producción. El proceso propuesto está conformado por cinco actividades, las cuales debe ejecutar el jefe de planta cada vez que se actualice el MPS. En la Figura 32 se muestra el desglose de ejecución por tarea.

Figura 32

Método de ejecución propuesto planificación de la capacidad

Cursograma analítico										
		Actividad	Propuesta					Actual		
Objeto: Método de ejecución propuesto del proceso de planificación de la capacidad		Operación	7							
		Inspección y Medición	1							
		Operación e Inspección	1							
		Transporte	0							
		Entrada de bienes	0							
		Almacenamiento	0							
Proceso: Planificación de la capacidad Método: Propuesto		Total	9					-		
Actividades	Descripción	Símbolo						AVA	NVA	
		○	□	◻	⇨	▽	△		Evitable	Inevitable
Cálculo de las horas requeridas por línea de producción.	Calcular las horas necesarias para cumplir el requerimiento.	●						X		
	Determinar las horas requeridas para cada línea de producción.	●						X		
Cálculo de la capacidad necesaria por periodo.	Calcular las horas requeridas por periodo para cada línea de producción.	●						X		
	Revisar preliminarmente la capacidad total requerida contra la disponible.	●						X		
	Comparar la capacidad requerida contra la real.	●						X		
Cálculo de la capacidad adicional requerida.	Calcular la capacidad adicional requerida.	●						X		
	Comparar contra las horas extra máximas permitidas.	●						X		
Cálculo de mano de obra requerida.	Estimar el porcentaje de uso de la capacidad.	●						X		
	Calcular la mano de obra requerida.	●						X		
Total		7	1	1	0	0	0	100%	0%	0%

3.4.4. Planificación de la capacidad a nivel operativo

Al planificar la capacidad a nivel operativo, se desagrega diariamente el requerimiento semanal de cada gas calculado al realizar el MPS desagregado. Este proceso es el encargado de decisiones productivas, como establecer la distribución de los recursos disponibles, la secuencia de fabricación y la estimación de los tiempos de trabajo (Heizer y Render, 2008). Se define trabajar bajo un enfoque MTS, basándose en la demanda y no en las ordenes de los clientes, se utiliza un sistema de producción push, donde se produce basándose en el requerimiento semanal expuesto por el MPS, por lo que se espera la generación de inventario.

Para realizar la programación es necesario conocer la capacidad del equipo, el tamaño de la fuerza laboral, los materiales y el tiempo disponible (Gupta y Starr, 2014). Se parte de definir todos los recursos disponibles y la capacidad de estos, por lo que se consideran los siguientes insumos para ejecutar la planeación a nivel operativo: Requerimiento semanal, cilindros disponibles, dos líneas de envasado para O₂, dos líneas de envasado para N₂ o para Ar, dos líneas de envasado para CO₂, tasas de producción, tiempo disponible, tiempo de alisto y recurso humano.

Este proceso debe ser realizado con una frecuencia semanal por el jefe de planta y se propone ejecutarlo el último día de la semana. En la Figura 33 se presenta el diagrama SIPOC para la planificación a nivel operativo.

Figura 33

SIPOC para proceso de planificación de la capacidad operativa

S	I	P	O	C
Proceso de planificación de la producción.	Plan maestro de producción.	Cálculo de la cantidad óptima a producir. Segregación por SKU. Asignación de los recursos disponibles. Seguimiento de la secuencia propuesta.	Plan de producción a nivel diario. Recursos asignados. Secuencia de fabricación.	Ejecución de la producción.

Seguido, se describen las actividades definidas en el diagrama SIPOC.

a. Cálculo de la cantidad óptima a producir

Al tener como entrada un requerimiento total, se procede a segregar de modo que se obtenga una cantidad óptima a producir por gas para cada día de la semana. Para ello, se calcula el tiempo requerido para la fabricación de cada producto y se distribuye en los seis días de la jornada laboral, considerando el tiempo disponible y los cilindros vacíos que se suelen tener para cada gas.

Para distribuir el requerimiento semanal, se deben considerar los siguientes criterios que permitan la reducción de desperdicios, con la finalidad de calcular la cantidad óptima a producir para cada día.

- a. Minimizar los alistos.
- b. Minimizar el tiempo ocioso de los operarios.
- c. Minimizar los desperdicios, llenando bancos completos.
- d. Minimizar la incidencia en horas extra.

Además, se procede a identificar las restricciones y limitaciones que posee el sistema productivo, estas deben ser consideradas al calcular la cantidad óptima, ya que la solución también debe ser ejecutable, estas son:

- a. No se puede llenar Ar y N₂ al mismo tiempo, ya que comparten la bomba.
- b. En cualquier línea, si se apaga la bomba debe esperarse un mínimo de 2 horas para poder reiniciar el llenado.
- c. Se trabaja jornadas continuas para no interrumpir el llenado.
- d. La cantidad de cilindros disponibles es limitada y varía de un gas a otro.
- e. El tiempo disponible por día de lunes a viernes es de 8 horas. Y para el sábado corresponde a 4,25 horas.

Se trabaja con un sistema de carga finita; es decir, se toma en consideración un límite de tiempo y de capacidad para el equipo, por lo que se debe programar basándose en lo que el sistema productivo es capaz de cumplir, bajo los límites dados por las tasas de producción, el tiempo disponible y los cilindros vacíos.

Se tienen dos líneas dedicadas al O₂, por lo que se cuenta con la totalidad de tiempo disponible, lo mismo sucede con el CO₂, ya que en las líneas solo se procesan cilindros de este tipo de gas. Por otra parte, se tienen dos líneas en las que se distribuye el tiempo disponible entre el llenado de cilindros de Ar y de N₂. Además, se debe calcular la duración de fabricación en cada línea de producción, para esto se calcula el tiempo de alisto y el de llenado.

Para segregarse el requerimiento semanal, se utiliza un modelo de optimización, el cuál distribuye la carga buscando minimizar el tiempo ocioso, minimizar el tiempo de alisto o balanceándola durante los días de la semana. En la Tabla 29 se presenta la notación.

Tabla 29

Notación para el modelo de optimización

Índice	Descripción
i	Tipo de gas, $i \in$ (oxígeno, dióxido de carbono, nitrógeno o argón).
j	Día de la semana, $j \in$ (lunes, martes, miércoles, jueves, viernes o sábado).
Variable	Descripción
$Q_{i,j}$	Cantidad de bancos a producir del tipo de gas i para el día j .
X	Variable binaria, con valor de 0 si no hay producción, o 1 en caso contrario.
$I_{i,j}$	Porcentaje de tiempo inactivo por el tipo de gas i para el día j .

Tabla 29*Notación para el modelo de optimización (continuación)*

Parámetros	Descripción
d_j	Tiempo disponible para el día j .
l_i	Tiempo de llenado por banco del tipo de gas i .
a_i	Tiempo de alisto por banco del tipo de gas i .
S_i	Tiempo de set up para la línea de llenado del tipo de gas i .
$o_{i,j}$	Tiempo ocioso por llenado del tipo de gas i para el día j .
k	Representa un número mayor a ciento cincuenta.
c_i	Cantidad de metros cúbicos disponibles por cilindros vacíos del tipo de gas i .
b_i	Cantidad de metros cúbicos que representa cada banco del tipo de gas i .
m_i	Requerimiento semanal en metros cúbicos del tipo de gas i .

Se definen tres funciones objetivo, las dos primeras buscan minimizar el tiempo ocioso y el tiempo empleado en el alisto, estas se observan en las Ecuaciones 5 y 6. Seguido se establece la función que busca balancear las cargas de trabajo, distribuyendo el tiempo inactivo entre los días disponibles, esta se observa en la Ecuación 7.

$$\text{Minimizar } \sum_{i,j} o_{i,j} \quad (5)$$

$$\text{Minimizar } \sum_{i,j} X_{i,j} * s_i \quad (6)$$

$$\text{Minimizar } \sum_{i,j} I_{i,j} \quad (7)$$

Seguido, se definen las restricciones del modelo.

$$Q_{i,j} * (l_i + a_i) + (X_{i,j} * s_i) \leq d_j \quad (8)$$

$$[Q_{i,j} * (l_i + a_i) + (X_{i,j} * s)] + [Q_{i,j} * (l_i + a_i) + (X_{i,j} * s_i)] \leq d_j \quad (9)$$

$$Q_{i,j} \geq X_{i,j} \quad (10)$$

$$Q_{i,j} \leq k * X_{i,j} \quad (11)$$

$$Q_{i,j} * b_i \leq c_i \quad (12)$$

$$\sum_{i,j} Q_{i,j} * b_i = m_i \quad (13)$$

Se tiene la restricción de tiempo, ya que se requiere que lo realizado en cada línea de producción no exceda la cantidad de horas disponibles por día. Para el O₂ y el CO₂, se utiliza la Ecuación 8. En el caso del N₂ y Ar, al compartir el centro de trabajo, la Ecuación

9 representa la restricción por tiempo disponible. Por otro lado, el tiempo de alisto, únicamente se da si ese día se utiliza el centro de trabajo, para ello se emplea la variable binaria $X_{i,j}$ que toma el valor cero si $Q_{i,j}$ tiene el valor de cero y se utilizan las Ecuaciones 10 y 11.

Por otra parte, se tiene una restricción asociada a la cantidad de cilindros disponibles, donde los m³ a envasar para cada tipo de gas no puede sobrepasar el lote disponible por los cilindros vacíos, esta se representa en la Ecuación 12. Además, se plantea una restricción de producción para cumplir con el requerimiento, la cual se muestra en la Ecuación 13. Para estimar el tiempo ocioso, del centro de trabajo de O₂ y CO₂, se utiliza la Ecuación 14 y para el Ar y N₂ la Ecuación 15.

$$d_j - Q_{i,j} * (l_i + a_i) - (X_{i,j} * s_i) = o_{i,j} \quad (14)$$

$$d_j - [Q_{i,j} * (l_i + a) + (X_{i,j} * s_i)] - [Q_{i,j} * (l_i + a_i) + (X_{i,j} * s_i)] = o_{i,j} \quad (15)$$

Para la solución a este modelo de optimización se desarrolla el módulo cuatro en la aplicación de soporte, al seguir la serie de pasos indicada en el manual de usuario es posible obtener la cantidad que se debe envasar por cada tipo de gas.

b. Segregación por SKU

Al obtener la cantidad óptima a producir por día se procede a segregarla por SKU, para esto, se toma el total de cilindros a envasar y se distribuye según el porcentaje histórico que se suele fabricar por cada tipo de presentación. Para esta actividad, se agrega a la aplicación de soporte un segmento que permite segregarse el requerimiento total de cilindros, este da como resultado la cantidad a envasar de cada SKU.

c. Asignación de los recursos disponibles

En esta parte se establecen los materiales y encargados de realizar cada trabajo, de modo que se genere la secuencia de fabricación definitiva que asegura cumplir con el requerimiento. Al distribuir los recursos, de acuerdo con la cantidad a producir por día y al tiempo que se requiere para realizarlo, es posible conocer el tiempo de terminación de cada llenado, por lo que se determina la disponibilidad de producto terminado y la de mano de obra. Este resultado es un insumo para conocer la capacidad de almacenamiento requerida.

d. Seguimiento de la secuencia propuesta

La cantidad de cilindros disponibles por día es variable, por lo que en ocasiones existe faltante o sobrante, el cual debe cuantificarse y, además ajustar el plan de producción en caso de no contar con la cantidad necesaria para la producción del día. El proceso propuesto para planificar la capacidad a nivel operativo y generar la secuencia de fabricación está compuesto por seis tareas, las cuales se pueden observar en la Figura 34.

Figura 34

Método propuesto para la planeación de la capacidad operativa

Cursograma analítico									
Objeto: Método de ejecución propuesto del proceso de planificación de la capacidad a nivel operativo.		Actividad	Propuesta	Actual					
		Operación	5						
Inspección y Medición	1								
Operación e Inspección	3								
Transporte	0								
Entrada de bienes	0								
Almacenamiento	0								
Proceso: Planificación de la capacidad a nivel operativo.		Total	9						

Actividades	Descripción	Símbolo						AVA	NVA	
		○	□	⊙	⇒	▽	△		Evitable	Inevitable
Cálculo de la cantidad óptima a producir.	Ajustar los datos de entrada del modelo.			●				X		
	Calcular la cantidad óptima a producir para cada día.	●						X		
	Calcular el tiempo de fabricación.	●						X		
Segregación por SKU.	Multiplicar el requerimiento diario por el porcentaje que representa cada SKU.	●						X		
Asignación de los recursos disponibles.	Distribuir los operarios entre las líneas de producción.			●				X		
	Determinar la disponibilidad de mano de obra y de producto terminado.	●						X		
Seguimiento de la secuencia propuesta.	Verificar la cantidad de cilindros disponibles.			●				X		
	Ajustar la cantidad a producir conforme el panorama real.					●		X		
	Calcular el cumplimiento del plan de producción diario.	●						X		
Total		5	1	3	0	0	0	100%	0%	0%

3.5. Métodos documentados para los procesos productivos

Se comprende como proceso productivo los métodos de ejecución de envasado de cilindros, en este caso se reestructuran cuatro procesos, incluyendo elementos que actualmente no son consideradas en los métodos documentados. En la Figura 35 se muestra el SIPOC del proceso con las actividades que lo conforman, debido a que corresponde el mismo para los cuatro procesos bajo estudio.

Figura 35

SIPOC para los procesos de envasado

S	I	P	O	C
Operarios de producción.	Plan de producción diario. Recursos asignados. Cilindros. Materia prima. Material de etiquetado.	Alisto. Llenado. Retiro.	Producto envasado.	Departamento de Distribución.

3.5.1. Método de ejecución propuesto del proceso de envasado de O₂

A partir del análisis de brechas y de valor agregado, se modifica una parte específica del método, de tal manera de que se alcance un 100,0% de cumplimiento contra el

estándar; para ello, se agrega la totalidad de los traslados al método documentado y se traslada la ejecución del etiquetado, posterior a los traslados, tal como se lleva a cabo actualmente. En la Figura 36 se muestran las tareas que conforman el proceso propuesto.

Figura 36

Método de ejecución propuesto para el proceso de envasado de O₂

Cursograma analítico											
Objeto: Método de ejecución propuesto del proceso de envasado de O ₂		Actividad	Propuesta					Actual			
Actividad: Envasado de O ₂ Método: Propuesto		Operación	6					-			
		Inspección y Medición	0								
		Operación e Inspección	1								
		Transporte	4								
		Entrada de bienes	0								
		Almacenamiento	0								
Total		11					-				
Actividades	Descripción	Cantidad	Símbolo					AVA	NVA		
			○	□	◐	⇒	▽		△	Evitable	Inevitable
Alisto	Traslado 1	2 unidades				●					X
	Traslado 2	2 unidades				●					X
	Traslado 3	2 unidades				●					X
	Etiquetado	1 unidad			●			X			
	Venteo	Por banco	●					X			
	Vacío	Por banco	●					X			
Llenado	Prellenado	Por banco	●					X			
	Llenado	Por banco	●					X			
Retiro	Sellado	1 unidad	●					X			
	Retiro	2 unidades	●								X
	Traslado 4	2 unidades				●					X
Total			6	0	1	4	0	0	55%	0%	45%

3.5.2. Método de ejecución propuesto del proceso de envasado de N₂

El procedimiento se modifica en el orden de ejecución; primero se deben trasladar los cilindros y luego iniciar la tarea de etiquetado. La Figura 37 se muestra el proceso propuesto.

Figura 37

Método de ejecución propuesto para el proceso de envasado de N₂

Cursograma analítico											
Objeto: Método de ejecución propuesto del proceso de envasado de N ₂		Actividad	Propuesta					Actual			
Actividad: Envasado de N ₂ Método: Propuesto		Operación	5					-			
		Inspección y Medición	0								
		Operación e Inspección	1								
		Transporte	2								
		Entrada de bienes	0								
		Almacenamiento	0								
Total		8					-				
Actividades	Descripción	Cantidad	Símbolo					AVA	NVA		
			○	□	◐	⇒	▽		△	Evitable	Inevitable
Alisto	Traslado	2 unidades				●					X
	Etiquetado	1 unidad			●			X			
	Venteo	Por banco	●					X			
	Vacío	Por banco	●					X			
Llenado	Prellenado	Por banco	●					X			
	Llenado	Por banco	●					X			
Retiro	Sellado	1 unidad	●					X			
	Retiro	2 unidades				●					X
Total			5	0	1	2	0	0	75%	0%	25%

3.5.3. Método de ejecución propuesto del proceso de envasado de Ar

El método se modifica en el orden de ejecución del traslado de los cilindros y el etiquetado; seguido, se agregan las tareas de barridos debido a que el procedimiento estándar y el documentado no especifican esta parte del proceso, estas tareas se ejecutan y son indispensables para asegurar la pureza de los envases. En la Figura 38 se muestran las tareas que conforman las actividades del proceso productivo.

Figura 38

Método de ejecución propuesto para el proceso de envasado de Ar

Cursograma analítico													
		Actividad	Propuesta	Actual									
Objeto: Método de ejecución propuesto del proceso de envasado de Ar		Operación	6										
		Inspección y Medición	0										
		Operación e Inspección	1										
		Transporte	2										
		Entrada de bienes	0										
Actividad: Envasado de Ar Método: Propuesto		Almacenamiento	0										
		Total	9										
Actividades	Descripción	Cantidad	Símbolo						AVA	NVA			
			○	□	◻	⇨	▽	△		Evitable	Inevitable		
Alisto	Traslado	2 unidades				●							
	Etiquetado	1 unidad			●				X				
	Barrido 1	Por banco	●						X				
	Barrido 2	Por banco	●						X				
	Barrido 3	Por banco	●						X				
Llenado	Prellenado	Por banco	●						X				
	Llenado	Por banco	●						X				
Retiro	Sellado	1 unidad	●						X				
	Retiro	2 unidades				●							X
Total			6	0	1	2	0	0	78%	0%	22%		

3.5.4. Método de ejecución propuesto del proceso de envasado de CO₂

Respecto al método propuesto para el CO₂, se agrega el venteo, ya que no se contempla en el método documentado, y se elimina la actividad de calcular la cantidad de kilogramos a envasar, debido a que esta no agrega valor y en el método actual los operarios utilizan una medida única dependiendo de cada envase.

Además, se debe diferenciar entre el procedimiento realizado a cilindros con sifón y sin sifón, ya que uno requiere de venteo en el exterior de la planta. Por último, se modifica el orden en la ejecución de la tarea de sellado, esta pasa a realizarse durante el llenado, de modo que se sella un cilindro mientras el otro se llena, y no en el retiro. En la Figura 39 se muestran las tareas que conforman las actividades del proceso productivo.

Figura 39

Método de ejecución propuesto para el proceso de envasado de CO₂

Cursograma analítico																	
Objeto: Método de ejecución propuesto del proceso de envasado de CO ₂		Actividad	Propuesta					Propuesta					Actual				
Actividad: Envasado de CO ₂ Método: Propuesto		Operación	4					2					-				
		Inspección y Medición	0					0									
		Operación e Inspección	1					1									
		Transporte	2					2									
		Entrada de bienes	0					0									
		Almacenamiento	0					0									
		Total	7					5					-				
Actividades	Descripción	Cantidad	Símbolo (con sifón)					Símbolo (sin sifón)					AVA	NVA			
			○	□	◻	⇨	▽	△	○	□	◻	⇨		▽	△	Evitable	Inevitable
Alisto	Traslado 1	2 unidades															X
	Traslado 2	2 unidades	●														X
	Venteo	1 unidad	●											X			
	Traslado 3	1 unidad				●											X
	Etiquetado	1 unidad			●									X			
Llenado	Prellenado	1 unidad	●										X				
	Llenado	1 unidad	●										X				
Retiro	Retiro	1 unidad				●										X	
Total			4	0	1	2	0	0	2	0	1	2	0	0	50%	0%	50%

3.6. Tiempos estándar de los procesos productivos

Según Niebel y Freivalds (2009): “Cualquiera de las técnicas de medición del trabajo, representa una mejor forma de establecer estándares de producción justos. Los tiempos establecidos con precisión hacen posible incrementar la eficiencia del equipo y el personal operativo” (p. 327).

Mediante el estudio de tiempos se representa la cantidad de horas persona y horas máquina que se necesitan para fabricar un producto determinado, e incluye toda una serie de tolerancias consideradas normales dentro del propio proceso de producción (González, 2003). El estudio se ejecuta utilizando tiempos observados, los datos se tomaron aleatoriamente en la jornada laboral diurna basados en el método de trabajo propuesto, para así calcular tiempos normales y estándar. El detalle de los cálculos se observa en el Apéndice 15.

3.6.1. Tamaños de muestra

Para la ejecución de esta etapa del estudio, se realiza un muestreo de treinta datos para cada tarea de los cuatro procesos bajo análisis. A partir de los tiempos obtenidos, se calcula el promedio y la desviación estándar de estos, con el fin de obtener los datos de entrada para la estimación del tamaño de muestra basado en métodos estadísticos. Según Niebel y Freivalds (2009) “se puede suponer que las observaciones se distribuyen normalmente respecto a una media poblacional desconocida con una varianza desconocida” (p. 340).

Además, el estudio de tiempos involucra muestras pequeñas ($n < 30$), por lo cual se utiliza la distribución t con un alfa de 5,0% y un término de error expresado como una fracción del promedio (k), en este caso, se considera $k = 9,0\%$, debido a que la estructura del proceso no permite la completa gobernanza de la práctica estadística que dicta un tamaño de muestra basado en la totalidad por la dispersión de las lecturas (Niebel y Freivalds, 2009). Se selecciona dicho valor, debido a que, los tiempos de ejecución de los procesos productivos son en algunos casos mayores a 30 min y completar tamaños de muestra para un error menor, se encuentra fuera del alcance del proyecto.

A partir del muestreo, se obtienen los tamaños de muestra expuestos en la Tabla 30, estos permiten el cálculo de los tiempos estándar. Cabe destacar que, el etiquetado se ejecuta de la misma manera para los cuatro procesos, por lo tanto, se utiliza el mismo muestreo.

Tabla 30

Tamaños de muestra

Producto	Tarea	Unidad	Promedio (s)	Desviación (s)	n
Oxígeno	Traslado 1	Pares	45,7	5,7	8
	Traslado 2	Pares	28,6	5,1	16
	Traslado 3	Pares	22,1	2,9	9
	Etiquetado	Unidad	54,5	12,3	26
	Venteo	Banco	586,9	112,1	19
	Vacío	Banco	622,0	59,8	28
	Prellenado	Banco	799,8	71,4	40
	Llenado	Banco	1845,8	79,5	1
	Sellado	Banco	115,7	18,1	13
	Retiro	Pares	39,9	6,9	15
	Traslado 4	Pares	30,1	7,1	29
Nitrógeno	Traslado	Pares	70,3	4,9	30
	Etiquetado	Unidad	54,5	12,3	26
	Venteo	Banco	425,5	24,4	20
	Vacío	Banco	653,3	49,8	6
	Prellenado	Banco	831,1	65,9	30
	Llenado	Banco	2035,0	41,6	0
	Sellado	Banco	141,9	22,2	13
	Retiro	Pares	42,9	3,5	3
Argón	Traslado	Pares	69,5	3,7	10
	Etiquetado	Unidad	54,5	12,3	26
	Barrido	Banco	1205,7	162,8	9
	Prellenado	Banco	749,5	66,1	40
	Llenado	Banco	2044,0	87,7	1
	Sellado	Banco	117,2	17,7	12
	Retiro	Pares	48,8	16,3	58
Dióxido de Carbono	Traslado 1	Pares	20,7	2,3	60
	Traslado 2	Pares	58,1	8,6	12
	Venteo	Unidad	235,6	39,8	15
	Traslado 3	Unidad	14,4	3,6	33
	Etiquetado	Unidad	54,5	12,3	26
	Prellenado	Unidad	203,1	27,8	10
	Llenado	Unidad	131,8	3,5	0
	Retiro	Unidad	20,8	3,0	11

Cabe destacar que, es posible considerar las lecturas del muestreo para completar el tamaño de muestra, por lo tanto, los datos de tiempos estándar cuentan con representatividad estadística. Además, el tamaño de muestra para las actividades de

llenado y barridos, mantienen niveles de cero y uno, debido a que son ejecutadas por máquinas, por lo que la desviación no influye en el incremento del tamaño de muestra.

3.6.2. Calificación del desempeño del operario

Según Niebel y Freivalds (2009): “El tiempo real requerido para ejecutar cada elemento del estudio depende de la habilidad y esfuerzo del operario, por lo tanto, es necesario ajustar hacia arriba el tiempo normal del operario bueno y hacia abajo el del operario deficiente” (p. 343).

Para la valoración de los tiempos obtenidos, se toma como base el ritmo del operario calificado y se hace uso del método de calificación de la velocidad, donde “el observador compara la eficacia del operario con el concepto de un operario calificado, y después asigna un porcentaje para indicar la razón del desempeño observado sobre el desempeño estándar” (Niebel y Freivalds, 2009, p. 357). A partir de lo anterior, se ajusta cada una de las lecturas para obtener el tiempo normal, el cual se define como el tiempo que requiere un operario calificado para realizar el mismo trabajo. Los resultados se muestran en la Tabla 31.

Tabla 31

Tiempos normales

Producto	Tarea	Unidad	Tiempo normal (s)
Oxígeno	Traslado 1	Pares	44,7
	Traslado 2	Pares	28,3
	Traslado 3	Pares	22,6
	Etiquetado	Unidad	53,5
	Venteo	Banco	577,7
	Vacío	Banco	499,8
	Prellenado	Banco	785,7
	Llenado	Banco	1836,8
	Sellado	Banco	114,6
	Retiro	Pares	39,2
Nitrógeno	Traslado 4	Pares	32,1
	Traslado	Pares	71,4
	Etiquetado	Unidad	53,5
	Venteo	Banco	427,5
	Vacío	Banco	435,9
	Prellenado	Banco	811,1
	Llenado	Banco	2035,0
	Sellado	Banco	142,9
Retiro	Pares	41,9	
Argón	Traslado	Pares	70,9
	Etiquetado	Unidad	53,5
	Barrido	Banco	1205,7
	Prellenado	Banco	732,1
	Llenado	Banco	2044,0
	Sellado	Banco	121,5
Retiro	Pares	47,9	

Tabla 31*Tiempos normales (continuación)*

Producto	Tarea	Unidad	Tiempo normal (s)
Dióxido de Carbono	Traslado 1	Pares	20,9
	Traslado 2	Pares	59,2
	Venteo	Unidad	235,6
	Traslado 3	Unidad	53,5
	Etiquetado	Unidad	25,3
	Prellenado	Unidad	202,7
	Llenado	Unidad	131,8
	Retiro	Unidad	20,6

3.6.3. Adición de suplementos u holguras

El tiempo normal no es considerado el paso estándar, según Niebel y Freivalds (2003) se deben considerar tres clases de interrupciones que agregan tiempo extra: Personales, fatiga y retrasos inevitables. Por lo tanto, debe agregarse un suplemento dado como una fracción del tiempo normal, a fin de obtener un estándar justo que un trabajador pueda alcanzar.

Se considera una holgura de necesidades personales de 5,0%, ya que, según Niebel y Freivalds (2003) “la verificación detallada de la producción ha demostrado que una holgura de 5,0% para tiempo personal, o cerca de 24 minutos en 8 horas, es adecuada para condiciones de trabajo de un taller típico” (p. 367). Además, se considera un 4,0% de holgura por fatiga básica, ya que, el proceso bajo estudio se considera en buenas condiciones de trabajo y sin demandas especiales sobre sistemas motrices (Niebel y Freivalds, 2003).

Además, se añaden dos tipos de holguras adicionales, basadas en las recomendaciones de la Oficina Internacional del Trabajo de Estados Unidos, las cuales corresponden a un 2,0% por postura, ya que el proceso se ejecuta de pie y un 11,0% y 13,0% por fuerza muscular, ya que algunas de las tareas requieren el arrastre de cilindros de gas, cuyo peso ronda las 45 – 50 libras. Las holguras por tarea se muestran en la Tabla 32.

Tabla 32*Holguras por tarea*

Tarea	Necesidades Personales (%)	Fatiga Básica (%)	Postura (%)	Fuerza Muscular (%)	Total
Traslado	5,0	4,0	2,0	2,0	13,0
Etiquetado	5,0	4,0	2,0		11,0
Venteo	5,0	4,0	2,0		11,0
Vacío	5,0	4,0	2,0		11,0
Prellenado	5,0	4,0	2,0		11,0
Sellado	5,0	4,0	2,0		11,0
Retiro	5,0	4,0	2,0	2,0	13,0

3.6.4. Tiempos estándar

A partir de las etapas anteriores se procede al cálculo de los tiempos estándar de producción mediante la aplicación de las holguras para cada gas bajo análisis, así como la conversión respectiva para obtener el tiempo total por tarea en bancos para O₂, N₂ y Ar y cilindros en el caso de CO₂, correspondientes a la unidad de llenado.

a. Tiempos estándar para envasado de O₂

Tal como se describe en la subsección 2.7.1, el tiempo de ciclo por banco no se obtiene con la suma de las tareas identificadas debido a que, se tienen tareas que se ejecutan según la cantidad de bancos a envasar y el proceso permite la ejecución simultánea de tareas. Los tiempos estándar por tarea se muestran en la Tabla 33.

Tabla 33

Tiempos estándar O₂

Tareas	Tiempo por tarea (min)	Tiempo por banco (min)
Traslado 1	5,1	10,1
Traslado 2	3,2	6,4
Traslado 3	2,6	2,6
Etiquetado	11,9	59,4
Venteo	10,7	10,7
Vacío	9,3	9,3
Prellenado	13,3	13,3
Llenado	30,6	30,6
Sellado	1,1	1,1
Retiro	4,4	4,4
Traslado 4	3,6	3,6

Para el llenado de O₂, el tiempo de ciclo del primer banco se incrementa según la cantidad de bancos a envasar, debido a que, el traslado 1 aplica para los primeros dos bancos, el traslado 2 para el banco tres y cuatro y el traslado 4 para un quinto banco; es decir, en caso de llenar cinco bancos o más, para el primer banco se debe considerar dos veces el traslado 1 y 2, una vez el traslado 3 y una vez las demás actividades, excluyendo el traslado 4, sellado y retiro, además, se etiquetan todos los cilindros antes de iniciar. Por lo tanto, el mayor tiempo de ciclo que se puede obtener en este proceso para el primer banco corresponde a 147,8 min.

Por otro lado, para el segundo banco en adelante se considera solamente la tarea de llenado, debido a que el traslado 1, venteo y vacío se ejecutan durante el llenado del primer banco. Si se llena un tercer banco, el tiempo de ciclo es igual que el del segundo, ya que el traslado 2 se realiza durante el tiempo de ejecución del primer banco y el traslado 4, venteo y vacío se ejecutan durante el llenado del segundo banco. Por lo tanto, el tiempo de ciclo de llenado después del segundo banco corresponde a 30,6 min.

b. Tiempos estándar para envasado de N₂

Para este gas, al envasar un segundo banco no se considera el tiempo de prellenado y etiquetado, debido a que se realiza mientras se llena el primer banco. Los tiempos por tarea se muestran en la Tabla 34.

Tabla 34*Tiempos estándar N₂*

Tareas	Tiempo (min)
Traslado	18,8
Etiquetado	27,7
Venteo	7,9
Vacío	8,1
Prellenado	15,0
Llenado	33,9
Sellado	2,7
Retiro	11,1

El tiempo de ciclo total para el primer banco corresponde a 125,2 min.

c. Tiempos estándar para envasado de CO₂

Como se menciona en la subsección 2.5.2, se tienen dos tipos de cilindros de CO₂, con y sin sifón, por lo cual, se tienen tres traslados. En el caso de los cilindros con sifón, se realizan los traslados 2 y 3 para ser venteados y trasladados al área de llenado, y a los cilindros sin sifón solamente se les realiza el traslado 1, que corresponde a llevarlos del cepo al área de llenado. Los tiempos por tarea se muestran en la Tabla 35.

Tabla 35*Tiempos estándar CO₂*

Tareas	Tiempo por tarea (min)	Cilindro (min)	
		Primero	Segundo
Traslado 1	0,2	0,2	
Traslado 2	0,6	0,6	
Venteo	3,9	3,9	
Traslado 3	0,3	0,3	
Etiquetado	0,9	0,9	
Prellenado	3,8	3,8	0,5
Llenado	2,2	2,2	2,2
Retiro	0,4	0,4	0,4

Las tareas de traslado y etiquetado son consideradas de alisto, debido a que se ejecutan previo al llenado y dependen de la cantidad de cilindros a envasar, el venteo no se considera en el tiempo de ciclo, ya que se lleva a cabo mientras se realizan los traslados.

El tiempo de ciclo, sin considerar el alisto, es de 5,6 min para el primer cilindro y de 2,2 min para el segundo, debido a que, es posible realizar el prellenado y el retiro mientras el cilindro de la otra línea se está envasando.

d. Tiempos estándar para envasado de Ar

Para este gas, las tareas de prellenado, traslado, sellado y retiro no son consideradas en el tiempo de ciclo en caso de envasar más de un banco, debido a que se ejecutan mientras se llena el otro banco. Además, el etiquetado se lleva a cabo durante los barridos. Los tiempos por tarea se muestran en la Tabla 36.

Tabla 36*Tiempos estándar Ar*

Tareas	Tiempo (min)
Traslado	17,4
Etiquetado	22,3
Barridos	66,9
Prellenado	12,5
Llenado	34,1
Sellado	2,3
Retiro	11,7

La cantidad de bancos más común a envasar es uno, el tiempo de ciclo total corresponde a 167,0 min.

A partir de los tiempos estándar, se calcula la tasa de producción en m³/h, las cuales se obtienen a partir de los tiempos de llenado; es decir, no se consideran los tiempos de alistó, para mayor detalle de los cálculos observar el Apéndice 10. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 37.

Tabla 37*Tasas de producción*

Producto	Real		
	Tiempo (min)	Cilindros por hora	m ³ /h
Argón	34,1	41	274,4
Dióxido de carbono	2,2	27	342,8
Nitrógeno	33,9	49	308,6
Oxígeno	30,6	47	293,1

3.7. Aplicación de soporte

Se elabora una aplicación de soporte para la ejecución de los procesos diseñados, la cual se compone de cinco módulos e incluye un manual de usuario y se denomina "INFRA Tool".

3.7.1. Ingeniería de requerimientos

La Ingeniería de Requerimientos corresponde a un proceso que establece y mantiene un acuerdo entre el cliente, el usuario y el equipo del proyecto sobre los requerimientos cambiantes de un sistema (Baéz y Brunner, 2001). La metodología utilizada para la ejecución de esta herramienta es denominada DoRCU, la cual se encuentra conformada por cuatro etapas. Inicialmente, la elicitación de requerimientos, la cual corresponde a la comprensión de las necesidades del usuario, el resultado de esta actividad es la identificación de los requerimientos de las partes interesadas. Seguido, se ejecuta el análisis de los requerimientos identificados, de tal manera que se enumeren las peticiones contradictorias e irrelevantes, con el fin de eliminar las inconsistencias y falencias detectadas.

La tercera etapa corresponde a la especificación de los requerimientos a nivel descriptivo, y finalmente, se debe ejecutar o definir los métodos de verificación y validación de los requerimientos descritos. En este caso, los requerimientos se definen a partir de los procesos propuestos, por lo tanto, la verificación se ejecuta al estudiar los requerimientos definidos en conjunto con la contraparte, y la validación se lleva a cabo a partir de la ejecución de las corridas de prueba de aplicación. A partir de la metodología aplicada, se obtiene los resultados expuestos en la Tabla 38.

Tabla 38

Levantamiento de requisitos funcionales

ID	Requerimiento	Proceso relacionado	Tarea relacionada	Módulo relacionado
RF1	La aplicación debe generar los pronósticos de demanda.	Estimación de la demanda.	Generar las proyecciones incluyendo el factor móvil del modelo.	Módulo 1
RF2	La aplicación debe calcular el error de pronóstico.		Cálculo del error de pronóstico.	
RF3	La aplicación debe generar un plan agregado de producción.	Planificación de la producción.	Calcular el plan de producción.	Módulo 2
RF4	La aplicación debe generar un plan maestro de producción derivado del plan agregado.		Obtener el requerimiento semanal por tipo de gas.	
RF5	La aplicación debe calcular las horas requeridas por línea de producción.	Planificación de la capacidad.	Calcular las horas requeridas por línea de producción.	Módulo 3
RF6	La aplicación debe calcular la capacidad necesaria por periodo.		Calcular capacidad necesaria por periodo.	
RF7	La aplicación debe calcular la mano de obra requerida.		Calcular la mano de obra requerida.	
RF8	La aplicación debe determinar la capacidad adicional requerida.		Calcular la capacidad adicional requerida.	
RF9	La aplicación debe calcular la cantidad óptima a producir.	Planificación de la capacidad a nivel operativo.	Calcular la cantidad óptima a producir para cada día.	Módulo 4

Tabla 38*Levantamiento de requisitos funcionales (continuación)*

ID	Requerimiento	Proceso relacionado	Tarea relacionada	Módulo relacionado
RF10	La aplicación debe calcular el tiempo de fabricación.	Planificación de la	Calcular el tiempo de fabricación de cada trabajo.	Módulo 4
RF11	La aplicación debe segregar el requerimiento diario por SKU.	capacidad a nivel operativo.	Segregación por SKU.	
RF12	La aplicación debe actualizar la data una vez que se finalice cada periodo.	Seguimiento y control del desempeño.	Registro de datos.	Módulo 5
RF13	La aplicación debe presentar de manera gráfica los resultados de cada indicador.		Panel de control.	

Por otra parte, se describen los requerimientos no funcionales en la Tabla 39, enfocados a la interfaz de la herramienta de soporte.

Tabla 39*Levantamiento de requisitos no funcionales*

ID	Requerimiento
RNF1	Se incluye una interfaz que permita la navegación entre módulos a partir de vínculos.
RNF2	La aplicación incluye macros que permitan el dinamismo para la ejecución de las tareas.
RNF3	Se incluye una interfaz separada en módulos, cada uno con el menú principal.
RNF4	Los resultados generados deben incluir como máximo dos decimales.
RNF5	La generación de los resultados se lleva a cabo a partir de formularios.

3.7.2. Módulos de trabajo

En esta sección se describen los módulos que componen la herramienta de soporte, además, en el Apéndice 16, se muestra el manual de usuario que especifica las instrucciones a seguir para el uso de la aplicación.

3.7.2.1. Módulo 1: Estimación de la demanda

Este módulo brinda soporte al proceso de estimación de la demanda y se compone de seis secciones:

- a. Datos de entrada y agregación de la demanda: El objetivo de esta sección corresponde a facilitar la suma de los datos en metros cúbicos de los cuatro

- gases, con el fin de obtener la curva agregada por semana que alimenta el modelo de pronóstico.
- b. Datos atípicos: Contiene gráficos de caja para visualizar los datos de demanda de cada gas, de esta manera es posible identificar las eventualidades registradas y corregirlas en la sección de agregación de la demanda, con el fin de depurar las entradas del modelo.
 - c. Datos históricos: Contiene la data histórica de tres años que utiliza el modelo de estimación para generar los pronósticos del siguiente año, adicionalmente contiene el botón que permite la actualización de los datos históricos a utilizar.
 - d. Generación del pronóstico: Contiene la estructura del modelo de estimación y un botón que permite el pronóstico de manera automática.
 - e. Resultados: Permite la visualización gráfica y el desglose del pronóstico semanal generado, además, contiene una columna que debe ser completada con los datos de demanda del año una vez que este finalice.
 - f. Error de pronóstico: Incluye el MAPE semanal y anual, con el fin de verificar que se encuentra dentro de la meta establecida.

3.7.2.2. *Módulo 2: Planificación de la producción*

Este módulo permite la ejecución del proceso de planificación de la producción y se compone de dos secciones:

- a. Plan agregado de producción: Se utiliza para brindar soporte a la primera actividad del proceso, contiene siete variables que se utilizan para la elaboración del plan de producción. En este caso, se deben modificar únicamente las celdas de porcentaje de inventario de seguridad e inventario inicial, tal como lo indica el procedimiento elaborado en la subsección 2.4.2.
- b. Plan maestro de producción: Esta sección permite el cálculo del requerimiento de producción semanal en metros cúbicos a partir del plan agregado de producción, adicionalmente, se especifica el requerimiento en horas para cubrir el plan de producción.

3.7.2.3. *Módulo 3: Planificación de la capacidad*

Este módulo da soporte a las tareas del proceso de planificación de la capacidad, se compone de tres secciones:

- a. Horas requeridas: En esta sección, se determina la carga generada en horas por cada línea de producción según el requerimiento en m^3 , así como el requerimiento total por periodo planificado y la determinación de la capacidad adicional de ser necesaria.
- b. Mano de obra requerida: A partir del requerimiento de producción semanal y la capacidad disponible, se determina la cantidad de operarios necesarios por línea de producción.
- c. Tiempo de ciclo y tiempo disponible: Se mantiene el listado de datos de tiempos estándar de producción por tarea, tiempo disponible diario y semanal, además, las horas de alisto y de tiempo efectivo semanales.

3.7.2.4. *Módulo 4: Planificación de la capacidad operativa*

Este módulo permite la ejecución del proceso de planificación de la capacidad a nivel operativo, el cual se compone de tres secciones:

- a. **Parámetros del modelo:** Esta primera parte del módulo 4 enlista todos los parámetros que sirven como entrada al modelo de programación lineal, se detalla: El tiempo, disponible, de llenado y de alisto, la cantidad de cilindros disponibles y el requerimiento. Modificar algún parámetro cambiará la solución del modelo.
- b. **Producción óptima:** Se estima la cantidad óptima de bancos que se deben producir por gas para cada día de la semana. Esto se obtiene al ejecutar el modelo de programación lineal mediante el complemento de solver para cada centro de trabajo.
- c. **Distribución por SKU:** Al conocer la cantidad de bancos, se estima la cantidad total de cilindros necesarios para cada gas, luego en esta parte del módulo 4, se procede a segregar la cantidad de total cilindros a nivel de SKU.

3.7.2.5. *Módulo 5: Seguimiento y control del desempeño*

Este módulo permite la ejecución del proceso de seguimiento y control de desempeño, el cual se compone de tres secciones:

- a. **Registro de datos:** Se deben ingresar todos los datos requeridos para la medición de los indicadores, estos se obtienen de los reportes diarios de producción, registro de quejas y del control de entradas y salidas. Se debe actualizar de manera semanal.
- b. **Actualización de metas:** Se puede consultar y modificar las metas establecidas para cada indicador y la frecuencia de medición que estas tienen.
- c. **Panel de control:** Se puede visualizar el estado actual de los indicadores y el cumplimiento respecto a la meta esperada. Se divide en dos, el panel de control interno y externo.

3.8. Proceso de seguimiento y control del desempeño

En la evaluación realizada en la subsección 2.5.6 se encuentra que la empresa carece de un proceso establecido para el seguimiento y control del desempeño, actualmente se calculan indicadores de nivel de servicio, mermas, número de quejas de los clientes, consumo de bolsas, entre otros. Sin embargo, la información generada por estos, no se utiliza en la toma de decisiones sobre el sistema productivo. Además, no se tiene definido los responsables, la frecuencia y las actividades a realizar, por lo que se parte de definir el método a utilizar, seguido, se identifican los indicadores a medir y, por último, se diseña el panel de control que permite medir y evaluar los indicadores.

3.8.1. Método de ejecución para el seguimiento y control del desempeño

Este proceso tiene como objetivo evaluar el rendimiento del sistema productivo, utiliza los datos e información generados en la producción para calcular y comparar contra una meta. Además, según Chase et. al (2009), busca identificar desviaciones o irregularidades de manera oportuna, antes de que la causa raíz propicie un problema de mayor impacto.

Para realizar este proceso, se sigue la metodología establecida por el modelo “Scorecard”, el cual utiliza la medición y el monitoreo de datos para enlazar la estrategia establecida con los indicadores y objetivos propuestos, esto permite calcular el progreso respecto a lo planificado (García y Goncalves, 2022). El modelo parte de definir la estrategia que persigue la organización, para posteriormente definir cuáles objetivos se deben cumplir.

La estrategia pretende controlar el rendimiento del sistema productivo, con el fin de evaluar los desperdicios, monitorear la perspectiva del cliente y minimizar la incurrencia en recursos adicionales. El modelo plantea cuatro áreas en las cuales se establecen los objetivos. En la Tabla 40 se presentan los objetivos, indicadores, metas e iniciativas que se propone ejecutar para las cuatro perspectivas a satisfacer.

Tabla 40

Modelo Scorecard para el proceso de seguimiento y control

Estrategia				
Controlar el rendimiento del sistema productivo, con el fin de evaluar los desperdicios, monitorear la perspectiva del cliente y minimizar la incurrencia en recursos adicionales.				
	Objetivo	Indicadores	Metas	Iniciativas
Perspectiva financiera	<ul style="list-style-type: none"> Reducir la incurrencia en recursos monetarios adicionales. 	<ul style="list-style-type: none"> Cantidad de horas extra. Productividad. 	<ul style="list-style-type: none"> Productividad constante que facilite la planificación. Reducir un 50,0% las horas extra. 	<ul style="list-style-type: none"> Se diseñan procesos para planificar la producción, de modo que la necesidad de recursos adicionales sea mínima.
Perspectiva del cliente	<ul style="list-style-type: none"> Ser reconocidos por la calidad de los productos ofrecidos a los clientes. 	<ul style="list-style-type: none"> Número de quejas mensuales. 	<ul style="list-style-type: none"> Obtener 0 quejas mensuales por producto no conforme. Realizar el 100,0% de las inspecciones de calidad. 	<ul style="list-style-type: none"> Revisión de las inspecciones a ejecutar. Segregación de las quejas.
Perspectiva de procesos internos	<ul style="list-style-type: none"> Minimizar los desperdicios de materia prima, tiempos improductivos y nivelar la producción. Dar seguimiento al desempeño del sistema productivo. 	<ul style="list-style-type: none"> Porcentaje de desperdicio de materia prima. Eficiencia. Utilización. Eficacia. 	<ul style="list-style-type: none"> Las mermas no pueden sobre pasar el 2,0% para CO₂, 3,0% para Ar, 2,0% para N₂ y 1,0% para O₂. Obtener niveles constantes de utilización y eficiencia. 	<ul style="list-style-type: none"> Se realiza un balance en la producción al distribuir el MPS, por lo que se reducen los máximos y mínimos de utilización y eficiencia.

Seguido, se procede a diseñar el proceso que se debe ejecutar por los encargados para llevar a cabo el seguimiento y control. En la Tabla 41 se presenta el diagrama SIPOC para este proceso, el cual cuenta con tres actividades.

Tabla 41

SIPOC para proceso de seguimiento y control del desempeño

S	I	P	O	C
Procesos productivos de envasado.	Registros de producción.	Recopilación de información. Medición de indicadores. Análisis de brechas.	Desempeño del sistema productivo.	Alta gerencia.

Seguido, se describen las actividades definidas en el diagrama SIPOC.

a. Recopilación de información

Para estimar los indicadores se requiere de recolectar la información del sistema productivo, por lo que se utilizan los registros diarios de producción, registro de quejas y registro de entradas y salidas como insumos. Los operarios son los encargados de anotar la información necesaria para calcular cada indicador en el registro de producción, al finalizar cada jornada. Luego, de manera semanal, el jefe de producción ingresa los resultados del reporte diario en el registro de indicadores y se estimen los valores de cada uno.

Por último, de manera trimestral, se realiza un análisis general del cumplimiento y de las metas establecidas. Por lo que, se requiere de la información generada de manera semanal al estimar los indicadores y de análisis gráfico para decidir si se debe mantener o modificar las metas.

b. Medición de indicadores

La medición debe ser realizada por jefe de planta, requiere de la información recolectada en los reportes diarios y se basa en calcular los indicadores. Se utiliza el método establecido para cada uno y la frecuencia estipulada. Como complemento se utiliza la aplicación de soporte diseñada, de modo que al registrar los datos se estime cada indicador de forma automática y se presenten la información en forma gráfica a través del formulario establecido. De esta actividad se genera un registro histórico donde se detalla el nivel de cumplimiento obtenido.

c. Análisis de brechas

Los resultados calculados al realizar la medición deben ser valorados respecto a las metas planteadas. Los indicadores están orientados a valorar el desempeño del sistema productivo, por lo que al encontrar desviaciones entre lo real y lo esperado, se procede a indagar la causa o causas que propiciaron estas diferencias, debido a que pueden estar relacionadas a problemas del equipo o fallos que requieran de intervención o mantenimiento, por lo que, cuanto antes se detecte el problema, menor será el impacto ocasionado. Este proceso de seguimiento y control cuenta con tres actividades, en la Figura 40 se detallan a nivel de tareas.

Figura 40

Método de ejecución propuesto para el control del desempeño

Cursograma analítico										
		Actividad	Propuesta	Actual						
Objeto: Método de ejecución propuesto del proceso de seguimiento y control del desempeño Proceso: Seguimiento y control del desempeño. Método: Propuesto		Operación	3							
		Inspección y Medición	4							
		Operación e Inspección	1							
		Transporte	0							
		Entrada de bienes	0							
		Almacenamiento	0							
		Total	8							
Actividades	Descripción	Símbolo						AVA	NVA	
		○	□	◉	⇨	▽	△		Evitable	Inevitable
Recopilación de información.	Registrar los resultados en las hojas de producción.		●					X		
	Registrar las entradas y salidas de los operarios.		●					X		
Medición de indicadores.	Recolectar las hojas de producción y el registro de horas extra.	●						X		
	Ingresar la data requerida de los reportes a la aplicación de soporte.	●						X		
	Verificar que se ejecute el cálculo de cada indicador.		●					X		
Gestión de resultados.	Valorar el cumplimiento de la meta establecida para cada periodo.		●					X		
	Realizar ajustes y acciones correctivas al sistema productivo con base en el cumplimiento.	●						X		
	Actualizar las metas esperadas.			●				X		
Total		3	4	1	0	0	0	100%	0%	0%

3.8.2. Medición y control de indicadores

Se detalla el procedimiento a realizar para medir cada indicador propuesto en el modelo Scorecard, donde se definen los responsables, la ecuación y las actividades que conforman el método de cálculo para cada uno. En el Apéndice 17 se desarrolla una demostración de los cálculos realizados para estimar cada indicador.

Al definir el modelo se establece medir los siguientes indicadores: Horas extra, productividad, quejas mensuales, porcentaje de desperdicio, eficiencia, utilización y eficacia, los cuales se detallan seguidamente.

3.8.2.1. Horas extra

Mide la cantidad de tiempo adicional que laboran los trabajadores respecto a la jornada ordinaria, se mide en horas y se remunera 1,5 veces más. Para calcular las horas extra por día, se anota la hora de entrada y de salida de los trabajadores, luego, se estima la totalidad de horas laboradas y se le restan las contempladas en la jornada diaria, por lo que se obtienen las extras, tal como se muestra en la Ecuación 16.

$$\text{Horas extra por día} = \text{Total horas laboradas} - \text{Horas por jornada diaria} \quad (16)$$

Se establece realizar una revisión quincenal a cargo del jefe de producción, donde se contabilice el total de horas extra y se justifique el motivo de la incurrencia. Se deben realizar anotaciones de cómo se podrían reducir, y en caso de necesitarse, se debe crear un registro con la finalidad de conocer a largo plazo el impacto de estas. Este indicador está ligado a reducir la incurrencia en recursos monetarios adicionales, ya que permite controlar la cantidad de horas que se están generando semanalmente.

3.8.2.2. Productividad

A partir de la productividad se valora el ritmo de producción que se obtiene al realizar el llenado, la unidad de medida es metros cúbicos por hora persona. Las horas persona se calculan sumando las horas laboradas por cada trabajador, tanto ordinarias como extras. Al trabajar con tres centros de trabajo se recomienda medir por separado, y con una frecuencia quincenal, ya que el reporte de horas extra se genera por el departamento de contabilidad con esta frecuencia. Se utiliza la Ecuación 17.

$$\text{Productividad} = \frac{\text{Metros cúbicos envasados}}{\text{Horas persona empleadas}} \quad (17)$$

El resultado funciona para dar seguimiento a la utilización de los recursos, obtener periodos con máximos o mínimos de productividad indica que existen variaciones en el ritmo de producción, donde en ciertos periodos se logra producir más metros cúbicos por hora persona que en otros. En este indicador se evalúa la desviación entre los periodos por medio de análisis gráfico y se debe justificar las diferencias encontradas.

3.8.2.3. Número de quejas mensuales

Se busca cuantificar las inconformidades o productos que no cumplan con los requerimientos establecidos. Para este indicador se busca obtener un resultado de cero quejas mensuales, la organización cuenta con un procedimiento a realizar para dar seguimiento a las quejas y a la retroalimentación de los clientes, donde se recopilan todas estas en un mismo registro, sin embargo, deben segregarse y atenderse según el tipo de gas o naturaleza de la queja.

El jefe de producción debe, de manera mensual, revisar el registro y actualizar el número de quejas obtenido, basándose en las que estén relacionadas a productos envasados en la planta o al sistema productivo. Se ha establecido como meta obtener cero quejas por mes, en caso contrario se debe indagar el motivo y registrarlo. Se utiliza la Ecuación 18.

$$\text{Número de quejas mensuales} = \sum \text{Quejas durante el período} \quad (18)$$

3.8.2.4. Porcentaje de desperdicio de materia prima

A raíz de la evaluación realizada en la subsección 2.11.3, se determina que las metas establecidas debían ser replanteadas a 2,0% para CO₂, 3,0% para Ar, 2,0% para N₂ y mantener la meta del O₂ de 1,0%. Además, este debe medirse por día y luego mensualmente utilizando el promedio y la desviación del porcentaje obtenido de cada día. Para estimar este indicador se calcula la cantidad de kg envasados en los cilindros y se divide entre la cantidad de kg consumidos del tanque de materia prima, obteniendo así cuánto porcentaje se pudo convertir en producto terminado. Se utiliza la Ecuación 19.

$$\text{Porcentaje de desperdicio de materia prima} = \frac{\text{kilogramos envasados}}{\text{kilogramos consumidos}} * 100\% \quad (19)$$

Se busca medir este indicador para controlar el porcentaje de desperdicio, un alto desperdicio puede relacionarse a fugas o averías en las máquinas. Además, funciona para valorar el rendimiento del proceso productivo, indica cuanto porcentaje se logra convertir en producto final y cuanto es merma.

3.8.2.5. Utilización de la capacidad

Se utiliza para cuantificar la cantidad de tiempo que se utiliza las líneas de llenado con respecto al tiempo disponible. Se divide por centro de trabajo y permite valorar a la empresa cuánto están aprovechando el equipo. Un porcentaje bajo de utilización indica que existen oportunidades de aprovechar más el equipo; es decir, se podría aumentar la producción, en caso contrario, un porcentaje alto puede revelar la necesidad de valorar una expansión en la capacidad, debido a que podría saturar la capacidad instalada. Se utiliza la Ecuación 20.

$$\text{Utilización de la capacidad} = \frac{\text{Horas utilizadas}}{\text{Horas disponibles}} * 100\% \quad (20)$$

Se estima a nivel semanal de acuerdo con las horas requeridas para fabricar la cantidad envasada dividido entre las horas disponibles.

3.8.2.6. Eficiencia

La eficiencia determina cuánto porcentaje se aprovecha respecto a la salida teórica del sistema productivo, mide la tasa real que hubo por día en el llenado contra la tasa estándar que el equipo puede ofrecer, de modo que, se obtiene como resultado el porcentaje que se logra abarcar del ritmo posible que entrega el sistema. Se utiliza la Ecuación 21.

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Tasa actual}}{\text{Tasa estándar}} * 100\% \quad (21)$$

Permite monitorear el ritmo de llenado que ejecutan los operarios contra el estándar que se debe alcanzar. A diferencia de la utilización, que se encarga de medir el tiempo empleado de las máquinas contra el disponible, este indicador evalúa el resultado obtenido al ejecutar la producción, ya que se monitorea cuántos metros cúbicos se envasan en el tiempo empleado.

3.8.2.7. Eficacia

Mide el cumplimiento del plan de producción, donde se calcula cuánto del total planificado se logra realizar, debido a que puede verse afectado por la cantidad de cilindros disponibles por día, atrasos en el recibo de la materia prima o por averías o imprevistos que imposibiliten la ejecución de la producción. Se debe mantener un 100% de cumplimiento, en caso contrario se registra el porcentaje alcanzado y el motivo. Se utiliza la Ecuación 22.

$$\text{Eficacia} = \frac{\text{Metros cúbicos envasados}}{\text{Metros cúbicos planificados}} * 100\% \quad (22)$$

Se deben registrar las causas que imposibilitan el cumplimiento del plan de producción, ya que a largo plazo se puede estudiar la frecuencia que tienen y el impacto. La medición de este indicador se lleva a cabo semanalmente, donde se busca en el registro de producción la cantidad de metros cúbicos envasados a nivel diario y se compara contra el plan de producción establecido para cada día.

3.8.3. Panel de control

Para monitorear el estado y avance de cada indicador se procede a diseñar un panel de control, mide los resultados obtenidos conforme se ejecuta la producción en el tiempo y

sirve para implementar el modelo Scorecard planteado en el proceso de seguimiento y control del desempeño. Se debe actualizar de manera semanal ingresando los datos de los reportes diarios, se ha establecido al jefe de planta como encargado de actualizar la data.

El panel de control se agrega a la aplicación de soporte diseñada en la subsección 2.7, con la intención de facilitar el registro y actualización de datos. Se crea el módulo 5 donde el usuario puede ingresar los datos de entrada y obtener el resultado para los indicadores bajo análisis. Además, la aplicación de soporte permite generar un informe donde se presenten los resultados de los indicadores y el avance de manera visual.

3.9. Conclusiones del diseño

A partir de la evaluación del sistema de planificación y control de la producción actual de INFRA GI de Costa Rica, se identifica la necesidad de elaborar estándares procedimentales e incorporar conceptos técnicos a los procesos de planificación, por lo tanto, se diseñan los procesos de estimación de la demanda, planificación de la producción, planificación de la capacidad y planificación de la capacidad operativa. Como resultado, se obtiene el mapeo de cada procedimiento, además, se reduce en la totalidad el 84,6% de incumplimiento de buenas prácticas y el 47,0% de actividades de no valor agregado. Se infiere que, al contar con procesos basados en métodos estadísticos e integrados para la planificación y control, la organización podría mejorar la planificación de la producción, y, por ende, disminuir los desperdicios relacionados a capacidad, lo que puede generar una reducción de 76,8 horas extra quincenales.

En relación con el diseño del proceso de estimación de la demanda, se elabora un procedimiento de ejecución basado en un método cuantitativo ajustado al comportamiento de la demanda, además, se establece una actividad de análisis y corrección de los datos que alimentan el modelo de pronóstico, denominado pronóstico colaborativo. Como resultado, se reduce el error de pronóstico en un 4,8% lo cual representa un total de ₡257 796 258. De lo anterior se infiere que, la empresa puede mejorar la planificación de la producción, ya que se tiene control sobre 12 187 m³, lo cual se traduce en 40 horas de trabajo que pueden ser planificadas correctamente.

Para el diseño del proceso de planificación de la producción y capacidad, se realiza un procedimiento compuesto por un plan agregado y un plan maestro de producción, los cuales se elaboran de manera semanal y por tipo de gas, los resultados de este se integran para la planificación de la capacidad y el ajuste de la capacidad requerida. Como resultado se obtienen 83,0% de semanas sin roturas de inventario de seguridad y se disminuyen las roturas de demanda en la totalidad. De los resultados obtenidos, se infiere que para las 12 semanas analizadas se podría generar la producción requerida sin incurrir al uso de capacidad adicional, lo que representa un ahorro promedio de ₡1 018 116.

En cuanto al proceso de planificación de la capacidad operativa, se elabora un modelo de programación lineal que permitiese desagregar el requerimiento semanal, de tal forma que se conociera la cantidad de bancos necesarios a producir por día. Como resultado, se obtiene la cantidad óptima de producción diaria por tipo de gas, basado en tres funciones objetivo. De lo anterior se infiere que, al conocer las cantidades ideales de producción, la empresa se encuentra en capacidad de mejorar el secuenciamiento

reduciendo así las semanas con roturas por faltante de cilindros vacíos de 71,4% para N₂, 28,6% para Ar y 42,9% para O₂.

Para los procesos productivos de envasado se realiza una reestructuración de los métodos de trabajo, de modo que se redujese la brecha entre el método documentado y el ejecutado, además, se realiza un estudio de tiempos. Como resultado, se conocen los tiempos estándar de cada uno de los procesos productivos, lo que permite eliminar la diferencia de la capacidad con la cual planifica la organización de la real, con esto, se obtienen en promedio 6,2 horas semanales de tiempo efectivo disponible que podrían ser utilizadas para atender las fluctuaciones en la demanda y disminuir las roturas de inventario.

Se elabora una aplicación de soporte de ejecución a los procesos diseñados, de modo que permitiese la sostenibilidad de los métodos de ejecución mediante la programación de cinco módulos de trabajo, cada uno directamente relacionado con los procesos de planificación diseñados. Como resultado, se obtiene una aplicación de soporte que facilita al usuario la planificación semanal de la producción, así como el control de los niveles de capacidad. De lo anterior, se concluye que se agiliza el flujo de información e integración de los procesos que conforman el sistema diseñado.

Finalmente, se diseña el proceso de seguimiento y control de la producción, de tal manera que permitiese medir los niveles de desempeño de la organización mediante la metodología "Scorecard" basada en tres perspectivas de indicadores: Financiera, de Cliente y de Procesos internos, además, se lleva a cabo la elaboración de un panel de control dentro de la aplicación de soporte desarrollada. Al evaluar el sistema diseñado para un periodo de 12 semanas, se obtiene una productividad general de 131,1 m³/h ± 2,5 m³/h y una utilización de 53,0% para O₂, 23,0% para CO₂ y 47,0% para N₂ y Ar. Con esto se infiere que, con el diseño de los procesos se generan al año 104 horas adicionales potencialmente, por lo que, mediante una medición integral de los procesos que conforman el sistema de planificación y control, la empresa puede ejecutar planes de acción para hacer uso de la capacidad adicional generada en la atención de nuevos clientes.

Capítulo 4. Validación

4.1. Objetivo general

Evaluar la efectividad del sistema integrado propuesto para la planificación y control de la producción mediante ejecución de corridas de prueba y el análisis de la viabilidad y factibilidad de implementación, con la finalidad de validar el potencial de impacto que la contramedida brinda a la organización.

4.2. Objetivos específicos

1. Ejecutar los procesos diseñados mediante la elaboración de una planificación de la producción piloto con el fin de determinar las mejoras obtenidas en el uso de los recursos.
2. Evaluar el sistema integrado de la planificación y control propuesto mediante un análisis de sensibilidad, con el fin de cuantificar la factibilidad de implementación de la propuesta en diferentes escenarios.
3. Medir el desempeño obtenido de los procesos diseñados mediante el cálculo de los indicadores propuestos, con el fin de cuantificar el rendimiento del sistema.

4.3. Metodología de trabajo

En la Tabla 42 se presenta la metodología a seguir, con el fin de alcanzar cada uno de los objetivos específicos anteriormente planteados.

Tabla 42

Metodología de trabajo de la validación

	Actividades	Herramientas	Producto esperado
Objetivo específico 1	Ejecución del proceso de estimación de la demanda.		
	Elaboración de un plan maestro de producción piloto.	• Fichas de procesos diseñados.	• Nivel de cumplimiento de la demanda a partir de la planificación propuesta.
	Ejecución del proceso de planificación de la capacidad operativa.	• Aplicación de soporte.	
	Análisis de las condiciones reales contra las planificadas para cuantificar el nivel de cumplimiento de la demanda.	• Estadística descriptiva.	
Objetivo específico 2	Definición de las variables a estudiar.	• Análisis de sensibilidad.	• Capacidad de reacción del sistema integrado diseñado ante la variabilidad del entorno.
	Elaboración de un estudio de escenarios.	• Estadística descriptiva.	

Tabla 42*Metodología de trabajo de la validación (continuación)*

Objetivo específico 3	Medición de los indicadores propuestos con los datos generados por la planificación piloto.	<ul style="list-style-type: none"> • Procesos diseñados. • Indicadores de éxito. • Indicadores de desempeño. 	<ul style="list-style-type: none"> • Proceso, procedimientos y puestos diseñados.
	Comparación de los resultados obtenidos en los indicadores a partir de planificación piloto y los resultados actuales de la organización.	<ul style="list-style-type: none"> • Panel de control. • Estadística descriptiva. • Análisis de brecha. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mejoras cuantificadas en los niveles de desempeño.

4.4. Ejecución de los procesos diseñados

Mediante el sistema de planificación diseñado, se elabora un plan de producción para 45 semanas del año 2022 y se estudia la demanda real con el fin de validar el rendimiento del diseño.

4.4.1. Estimación de la demanda

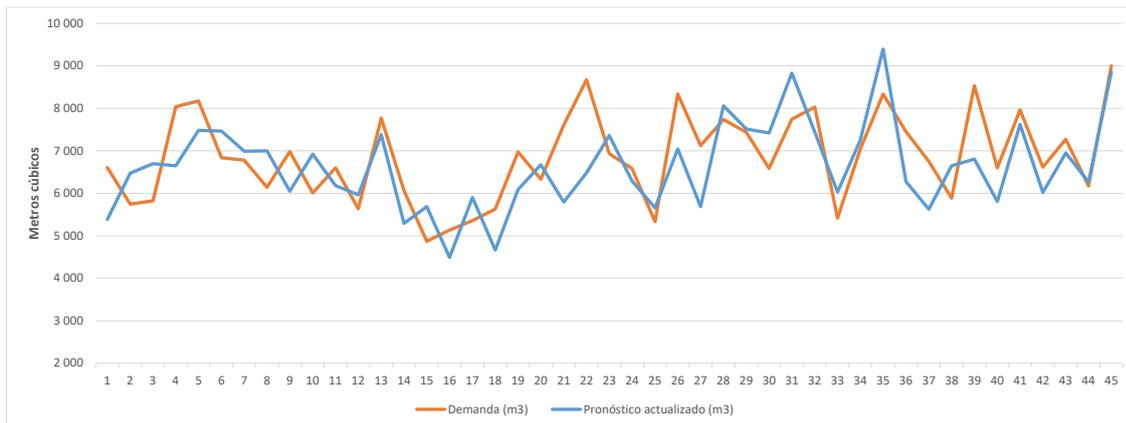
Inicialmente, se pronostica la demanda para cada una de las 45 semanas bajo análisis, este proceso se ejecuta basado en el diseño realizado y con soporte de la herramienta "INFRA Tool"; específicamente el módulo 1. Para la ejecución del proceso, se consideran los datos de demanda agregada, se utiliza el pronóstico móvil; es decir, se actualiza el comportamiento de la demanda según los resultados obtenidos en la semana anterior. Además, se realiza un ajuste de datos atípicos basado en el estudio de las eventualidades que pueden afectar los pronósticos generados por el modelo mediante el método de interpolación.

Además, se ejecuta un pronóstico colaborativo a partir de los resultados obtenidos, se corrigen aquellos datos de pronóstico que no se ajustan al comportamiento esperado y conocido de la demanda basado en datos históricos. Entre los datos ajustados se encuentran la eventualidad de semana santa, pedidos extraordinarios por parte de los hospitales, semanas con días feriados, entre otros.

Con estas acciones, se obtiene un error de pronóstico de 11,1%, lo que representa un impacto sobre las ventas totales de 1,3% correspondiente a $\$132\,263\,089$, lo cual se encuentra dentro de la meta del $\pm 5,0\%$ aceptable establecida por la organización. Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 41 y se observa la cercanía entre las curvas la demanda real contra la pronosticada para cada una de las 45 semanas analizadas.

Figura 41

Pronóstico de metros cúbicos vs demanda real



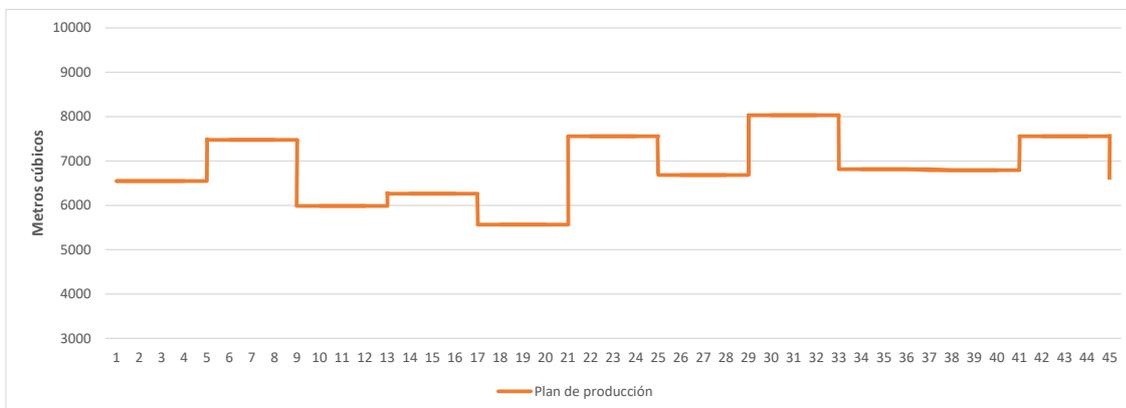
4.4.2. Planificación de la producción

Este proceso se ejecuta para las 45 semanas bajo análisis, donde se obtiene un plan de producción agregado para cada periodo nivelado cada cuatro semanas, manteniendo un IS promedio del 40,0% del espacio de la bodega, este se define a partir del estudio de los picos de demanda, de tal manera que sea posible mantener abastecida la bodega para cubrirlos.

Cabe destacar que, la elaboración del plan de producción de la semana 1 se define un inventario inicial del 50,0% de la capacidad de almacenamiento, debido a que, corresponde en promedio al inventario actual de la organización, además, el inventario inicial de las siguientes semanas se iguala al inventario final del periodo anterior basado en la diferencia del inventario disponible menos la demanda real. En la Figura 42 se presenta el plan de producción nivelado.

Figura 42

Plan de producción nivelado

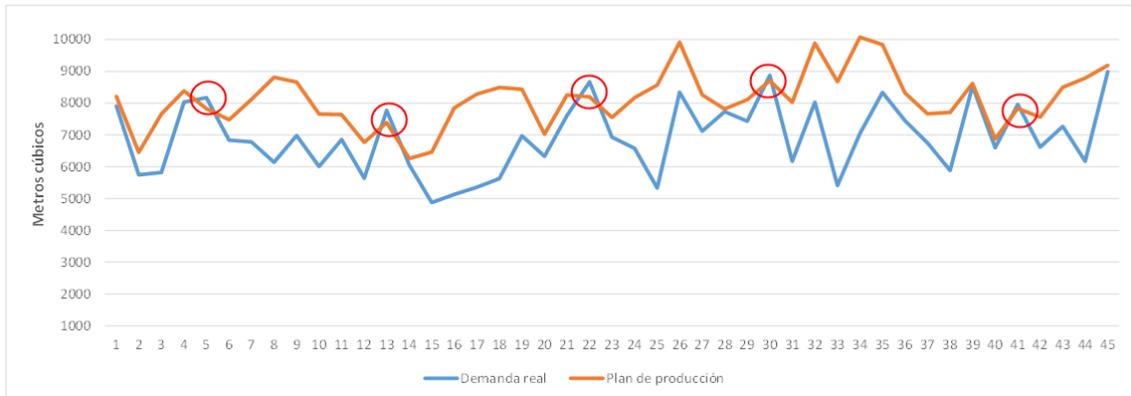


La Figura 42 muestra el MPS sin los inventarios finales del periodo anterior; es decir, se obtiene un inventario disponible a partir de la suma del inventario inicial más el plan de producción y este es el que se utiliza para cubrir la demanda esperada. Para efectos de la validación, se compara el MPS contra la demanda real, obteniendo así 5 semanas de roturas de inventario en las 45 semanas bajo análisis, lo cual representa un 11,0% del

total. Las semanas con rotura representan en promedio un 4,0% de la demanda real de dichas semanas, lo cual corresponde a 298 m³ y la demanda semanal promedio de la organización es de 7 032 m³. Además, los sobrantes de inventario por semana corresponden en promedio al 42,0% del espacio de la bodega, con lo cual, se puede afirmar que el MPS elaborado no genera excesos de inventario, sino que se mantiene en el nivel de inventario de seguridad definido. En la Figura 43 se muestra la demanda real contra el plan de producción y se señalan las roturas con círculos rojos.

Figura 43

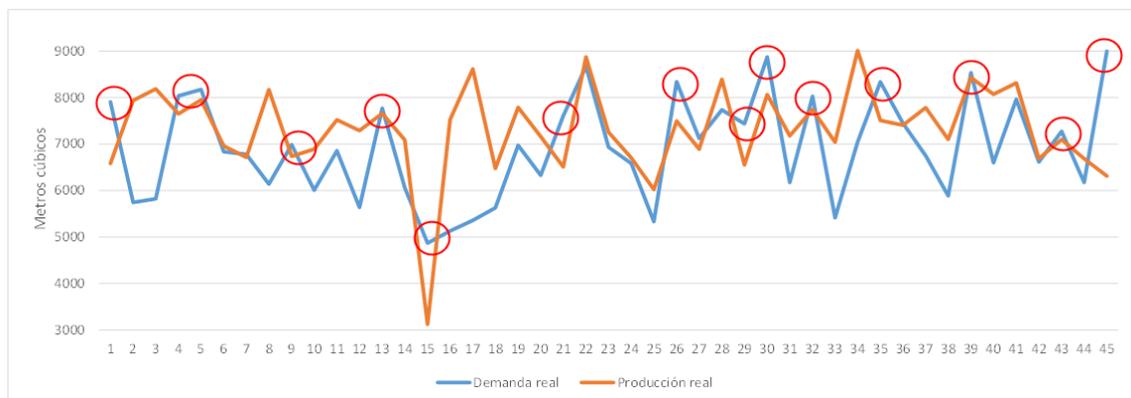
Demanda real contra plan de producción



Por otro lado, las roturas reales para ese periodo corresponden a 19 de 45 semanas, lo cual representa un 42,0% del total; es decir, con el sistema de planificación diseñado se logra disminuir la cantidad de roturas en un 31,0%, además, las roturas generadas corresponden a un 10,0% de la demanda real de dichas semanas, lo que representa 790 m³. En la Figura 44 se señalan con círculos rojos las roturas de demanda generadas.

Figura 44

Demanda real contra producción real



Al desagregar el plan de producción por tipo de producto, según el porcentaje de distribución de ventas histórico de 2019, 2020 y 2021, se analizan las semanas 44 y 45. En la semana 44 se obtiene un plan agregado de producción de 7 557 m³ y al distribuirlo por tipo de gas se genera un faltante de 130 m³ en Ar, debido a que, la demanda real corresponde a 1 143 m³ y al distribuir el plan de producción se le asignan 1 013 m³ a

este producto, para la semana 45 se repite la rotura en el Ar y se tiene un faltante en el O₂ de 366 m³. Los sobrantes representan en promedio 23,0% del espacio de la bodega los cuales se consideran aceptables según el inventario de seguridad definido de 35,0%. Los resultados se muestran en la Tabla 43.

Tabla 43

Distribución del plan de producción por tipo de gas

Tipo de producto	Demanda real (m ³)		Plan de producción (m ³)		Diferencia (m ³)	
	44	45	44	45	44	45
Ar	1 143	1 283	984	826	-130	-457
CO ₂	1 522	1 290	1 736	1 528	511	749
N ₂	383	550	631	546	398	394
O ₂	3 126	5 875	4 206	3 675	1 834	-366

Con este análisis, se determina que el porcentaje de distribución por ventas requiere ser ajustado, debido a que el calculado no cumple con una distribución eficiente ya que se encuentra influenciado por los datos de ventas reportados durante la pandemia de COVID-19. Los parámetros para la actualización son definidos en la subsección 4.5.3.

4.4.3. Planificación de la capacidad

Para la validación del diseño de este proceso, se realiza el análisis basado en el plan de producción elaborado para las 45 semanas bajo estudio, con lo cual se requieren en promedio 22,7 horas de tiempo efectivo semanal, y por ende al compararlo contra el tiempo disponible de 29 horas, se obtienen 6,1 horas de tiempo ocioso. Además, el máximo tiempo requerido corresponde a 26,6 horas, lo cual no supera el tiempo disponible y, por lo tanto, es posible afirmar que, hay capacidad suficiente para gestionar la demanda esperada típicamente, además, las horas extra pueden ser utilizadas para cubrir eventos puntuales, en caso de ser necesarios.

4.4.4. Planificación de la capacidad operativa

Se realiza el proceso de planificación de la capacidad operativa para las semanas 44 y 45 a nivel diario. En primera instancia, se ejecuta el modelo de programación lineal, con el cual se obtiene la cantidad de cilindros a producir diariamente por gas basado en el plan maestro de producción y seguido, se distribuye por SKU.

Con los resultados, se procede a comparar la cantidad de cilindros requeridos según el modelo contra la venta diaria para las semanas bajo análisis, con el fin de verificar el rendimiento del plan operativo de producción. Entre los resultados obtenidos se encuentra que, de los 12 días analizados, se obtienen roturas en el 66,0% en al menos un gas, donde la mayor recurrencia se presenta en Ar y O₂ con 5 días cada uno con un promedio de 13 y 53 cilindros faltantes respectivamente, por otro lado, para CO₂ se obtienen 2 días con rotura de 3 cilindros en promedio y para N₂, solamente un día con 5 cilindros en promedio.

De lo anterior, se comprende que el porcentaje de distribución por ventas y por SKU utilizado debe ser actualizado con los parámetros indicados anteriormente, con el fin de reducir las roturas generadas entre el plan operativo y las ventas reales.

Adicionalmente, se compara el plan contra la cantidad de cilindros disponibles por día, con el fin de determinar el rendimiento de este con los recursos disponibles, en el análisis se obtiene que, en total, existen faltantes de cilindros para cumplir con el plan en 83,0% de los días analizados con un promedio de 5 cilindros diarios, siendo los productos mayormente afectados CO₂ y O₂.

4.5. Análisis de sensibilidad

Una vez elaborado el análisis basado en un contexto real de lo acontecido a lo largo de 45 semanas del 2022, se procede a realizar un análisis de sensibilidad para determinar el desempeño del plan de producción al ser expuesto al aumento o la disminución de diferentes variables, los porcentajes de variación se definen en $\pm 10,0\%$ con el fin de estudiar la sensibilidad del sistema.

Se busca comprender el comportamiento de la demanda en diferentes escenarios de variables relacionadas con la planificación y la capacidad. Por lo tanto, se procede a definir como variables a estudiar la cantidad disponible de cilindros, la demanda y el porcentaje de distribución de ventas.

4.5.1. Demanda

Se toma como referencia la demanda reportada en el año 2022, ya que se determina que los datos no se encuentran afectados por la eventualidad del COVID-19. Adicionalmente, cabe destacar que, en este caso el MPS se mantiene fijo para todas las semanas bajo análisis. En el análisis de escenarios se consideran dos variaciones $\pm 5,0\%$ y $\pm 10,0\%$ de la demanda real de 2022. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 44.

Tabla 44

Distribución del plan de producción por tipo de gas

	Porcentaje de variación de la demanda				
	Base	-10%	-5%	+5%	+10%
Semanas con rotura	5	1	2	12	16
Representación sobre la demanda	4,0%	0,4%	3,0%	6,0%	8,0%
m ³ faltantes	298	36	278	492	689
Sobrante	42,0%	59,0%	48,0%	44,0%	34,0%

Al realizar la variación del 10,0%, se obtiene como resultado en el escenario optimista 16 semanas con roturas de inventario, lo cual representa un 36,0% del total. Además, la rotura representa un 8,0% de la demanda correspondientes a 689 m³ y los sobrantes representan el 34,0% del espacio de la bodega. Por otro lado, en el escenario pesimista tiene 1 semana con rotura de 0,4% de la demanda y 59,0% de sobrantes, con lo cual, se puede confirmar que no se generan excesos de producto y se mantiene el inventario de seguridad para cubrir las fluctuaciones de la demanda.

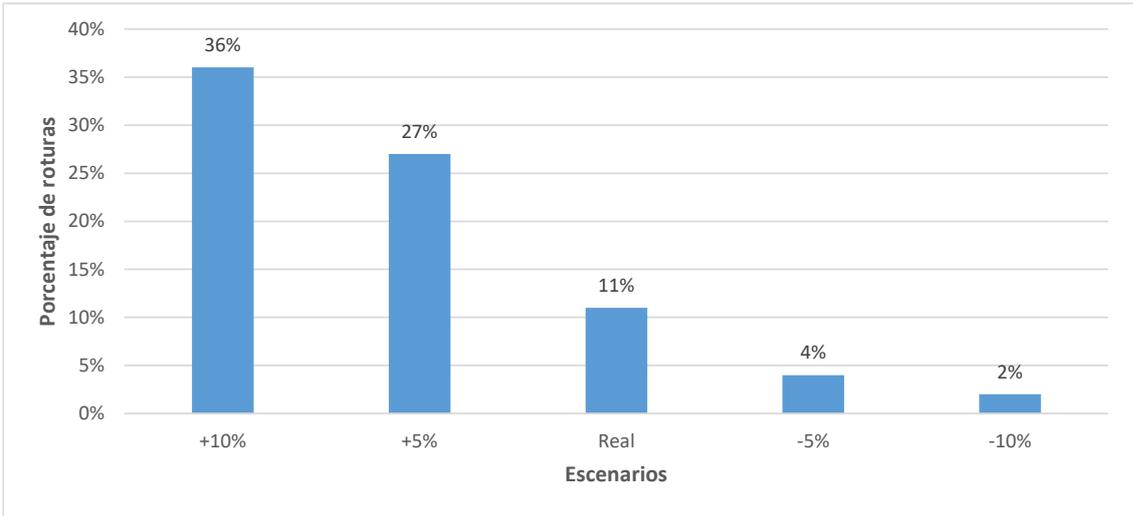
Por otro lado, con respecto a la variación del 5,0%, en el análisis optimista, se obtiene 27,0% de semanas con roturas de inventario de las cuales en promedio representan un 6,0% de la demanda correspondientes a 491 m³ y el inventario de seguridad sobrante representan el promedio 44,0% del espacio de almacenamiento. En el escenario pesimista, se obtiene como resultado 2 semanas con roturas, lo cual representa un 3,0%

de la demanda y 48,0% de espacio de seguridad en la bodega. A partir de lo anterior, se determina que aun en los escenarios anteriores, el sistema de planificación diseñado obtiene resultados aceptables, ya que, disminuye las roturas con respecto a la planificación actual de la organización, hasta en un 6,0% al compararlo contra el escenario pesimista.

En la Figura 45 se muestra la comparación de las roturas obtenidas en los distintos escenarios analizados. Cabe destacar que, el error de pronóstico obtenido corresponde a 11,1%, por lo que, si el plan de producción se elabora a partir de estimaciones con menor error de pronóstico, el sistema sería menos sensible a las variaciones en la demanda.

Figura 45

Análisis de sensibilidad - Demanda



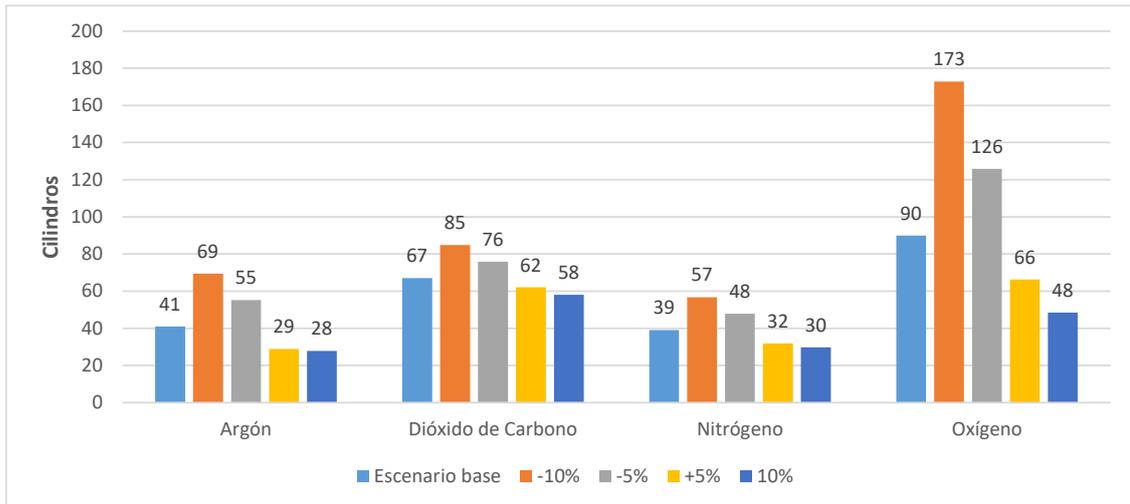
4.5.2. Cilindros disponibles

En este análisis al igual que en la variable anterior, se toma una variación de $\pm 5,0\%$ y $\pm 10,0\%$ de los cilindros disponibles en las 2 semanas bajo análisis. Con respecto a la variación de 10,0%, en el escenario pesimista, se tienen faltantes de cilindros en 11 de los 12 días analizadas, con un promedio de 35 cilindros diarios. En el caso del escenario optimista, se obtienen faltantes en 10 semanas, con un promedio de 15 cilindros por día. Al realizar la variación del 5,0%, en cuanto al escenario pesimista se obtienen 11 semanas con faltantes en un promedio de 28 cilindros por día y en el optimista 10 semanas con faltantes de 17 cilindros en promedio.

En la Figura 46 se muestra la cantidad de cilindros faltantes, en la cual se puede observar que los productos mayormente afectados varían dependiendo del escenario analizado, por lo tanto, se puede afirmar que nuevamente la distribución por ventas utilizada afecta el resultado y se reafirma la necesidad de actualizarlo basado en lecturas estables sin estar influenciados por eventualidades, ya que, al comparar la totalidad de cilindros disponibles contra los requeridos del MPS se obtienen solamente un faltante en 26 cilindros en CO₂.

Figura 46

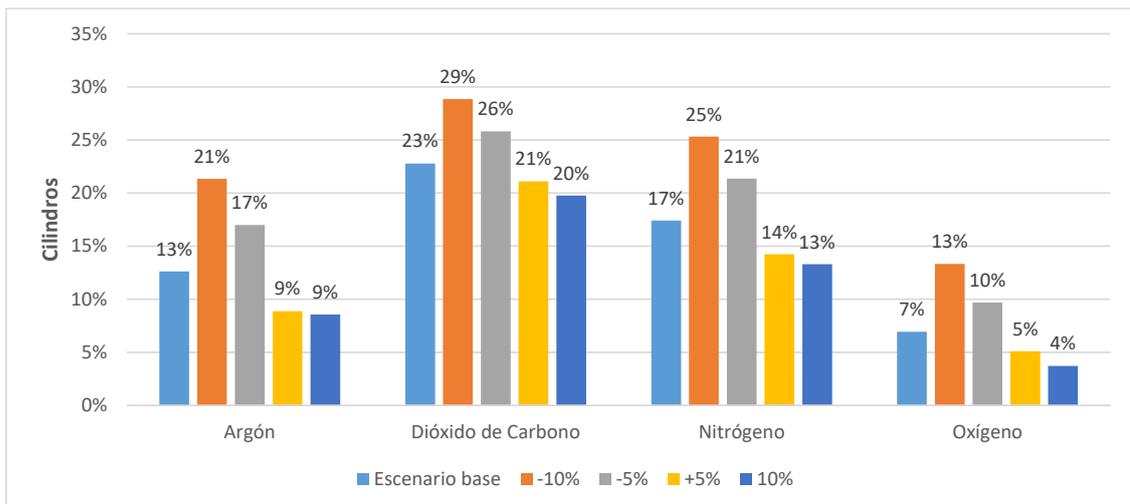
Análisis de sensibilidad – Cilindros faltantes



A partir de lo anterior, queda en evidencia la importancia de esta variable ya que afecta significativamente el desempeño del sistema de planificación diseñado, por lo tanto, se recomienda mejorar la gestión de los recursos disponibles y considerar la inversión en un lote de cilindros al menos de 59 cilindros para cubrir dichos faltantes. Además, dichos faltantes de cilindros representan hasta un 29,0% de la demanda para las 2 semanas analizadas. En la Figura 47 se muestra en porcentaje que representa cada faltante según el escenario analizado.

Figura 47

Porcentaje de representación de cilindros faltantes



4.5.3. Distribución del plan agregado por tipo de producto

Este análisis considera el porcentaje de distribución de la participación por tipo de producto, los criterios utilizados para la variación se definen con el objetivo de identificar un patrón de periodicidad basado en el comportamiento de las ventas, para distribuir el plan agregado de producción. Para ello, se analizan cuatro escenarios: Semanal, trimestral, cuatrimestral y semestral para los años 2019 y 2022. En la Tabla 45 se

muestran los resultados obtenidos de la cantidad de roturas obtenidas en cada escenario por tipo de producto.

Tabla 45

Cantidad de roturas por tipo de producto

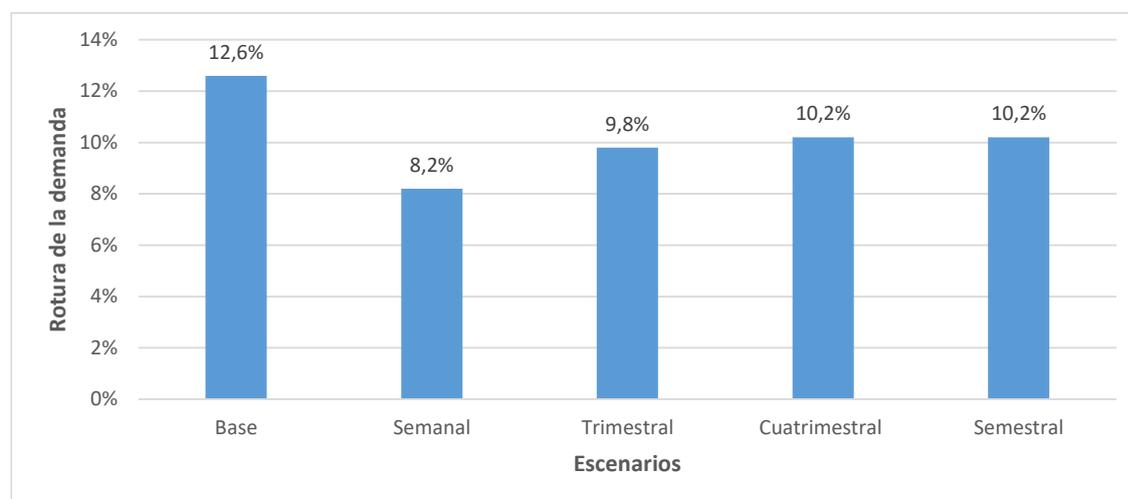
	Ar	CO ₂ - Con sifón	CO ₂ - Sin sifón	N ₂	O ₂
Base	20	7	9	9	9
Semanal	16	3	3	4	9
Trimestral	19	5	4	7	10
Cuatrimestral	18	4	4	7	10
Semestral	20	4	4	6	11

Los resultados obtenidos para los escenarios analizados indican que, el porcentaje de distribución utilizado en el desarrollo del sistema de planificación se encuentra afectado por la eventualidad de la pandemia ya que, utiliza datos de los años 2019, 2020 y 2021. Al ejecutar el análisis de tal forma que fuese posible identificar un patrón de ventas con datos no afectados por eventualidades, se encuentra que las roturas disminuyen. De los escenarios analizados para el 2022, la periodicidad semanal es la que presenta mejores resultados, evidenciando así que la actualización de dicho porcentaje debe ejecutarse en este periodo de tiempo, sin embargo, para mayor exactitud es necesario completar las lecturas para el año 2022 y así utilizar los datos de ventas más recientes.

Además, al analizar el porcentaje de representación de la rotura sobre la demanda para cada uno de los escenarios, se obtienen los resultados mostrados en la Figura 48, donde se muestra que la periodicidad semanal mantiene la menor rotura con un 8,0%.

Figura 48

Porcentaje de representación de las roturas sobre la demanda



4.6. Medición del desempeño

Con la finalidad de medir el desempeño que tiene la planificación piloto, se procede a evaluar el sistema mediante la medición de los indicadores propuestos en el diseño. Se analizan las dos semanas de pruebas piloto para compararla con los registros actuales. Para este análisis se consideran los indicadores de: Productividad, utilización de la

capacidad, eficiencia y eficacia. Los indicadores correspondientes a horas extra, número de quejas de los clientes y porcentaje de desperdicio de materia prima no se han considerado en este análisis ya que se requieren datos de al menos un mes.

Para la medición de estos indicadores se utiliza el panel de control diseñado que ha sido integrado en INFRA Tool, de modo que se registra la información necesaria para cada indicador y se visualizan los resultados en el panel para el posterior registro y análisis estadístico. Para realizar la actualización de datos e interactuar con la herramienta es necesario emplear el manual de usuario, este puede consultarse en el Apéndice 16, además, para este proceso se utiliza el módulo 5.

4.6.1. Utilización

Tras calcular la utilización se encuentra que está bajo los niveles esperados, ya que no se llega al límite permitido, el cual en acuerdo con la jefe de planta de la organización es de 90,0%. Se demuestra que la capacidad instalada es suficiente para realizar lo estipulado por el plan de producción, por lo que las horas extra generadas no se relacionan con insuficiencia de capacidad. En la Tabla 46 se muestran los resultados por centro de trabajo.

Tabla 46

Utilización por centro de trabajo

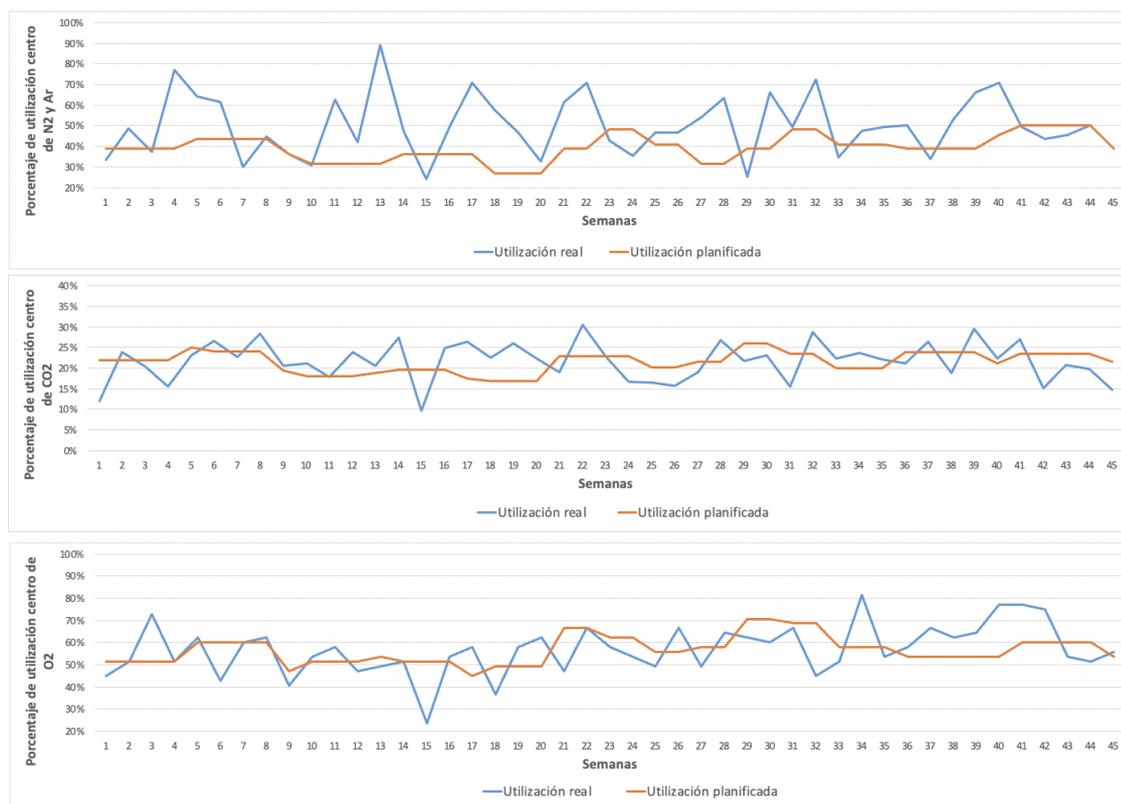
Centro de trabajo	Utilización (%)
Oxígeno	56,2
Dióxido de carbono	22,5
Nitrógeno y Argón	44,6

Al comparar los resultados para las 45 semanas de prueba con el registro histórico del indicador, se encuentra que estos están próximos al nivel promedio para cada gas, el cual es de $56,8 \pm 11,2\%$ para O_2 , $21,7 \pm 4,7\%$ para CO_2 y $51,7 \pm 16,9\%$ para N_2 y Ar. Bajo este escenario, se concluye que la planificación piloto para dos semanas no requiere de horas extra para ejecutarse, y las cantidades a envasar responden al comportamiento histórico de llenado, mientras exista la disponibilidad de cilindros, ya que esta es la limitante principal.

Al calcular la utilización, la empresa también estima la cantidad de tiempo que se requiere para realizar este llenado, por lo que puede distribuir el total de tiempo a lo largo de la semana, antes de iniciar la jornada. En la Figura 49 se presenta la utilización real contra la utilización planificada, donde se observa que al nivelar el plan de producción se disminuyen los picos de producción.

Figura 49

Porcentaje de utilización por centro de trabajo



4.6.2. Eficiencia

La eficiencia se logra estimar para dos semanas bajo estudio, sin embargo, no se puede inferir sobre el comportamiento ya que no se cuenta con los registros de los periodos anteriores a las pruebas piloto, por lo que se debe medir a lo largo del tiempo para posteriormente concluir sobre este y definir una meta acorde a los resultados obtenidos en cada línea de llenado. Se presenta en la Tabla 47 los resultados obtenidos por gas.

Tabla 47

Eficiencia por gas

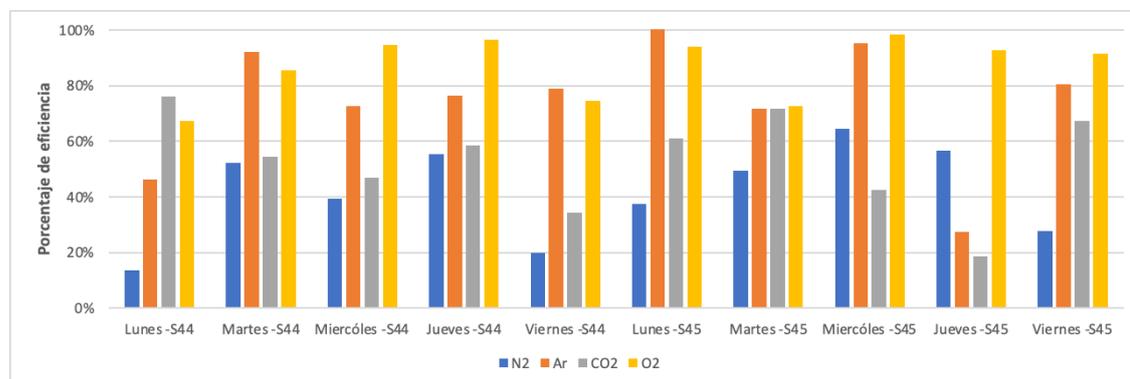
Tipo de gas	Eficiencia (%)
Oxígeno	87,5 ± 10,9
Nitrógeno	47,4 ± 17,6
Dióxido de Carbono	53,2 ± 17,8
Argón	74,4 ± 22,8

Los resultados indican que, en promedio la eficiencia en el llenado de O₂ y de Ar suele mantenerse por encima del 70,0%, es decir se aprovecha la salida teórica que puede entregar el sistema en este porcentaje. Por otro lado, el CO₂ y el N₂ se mantienen en niveles inferiores a 55,0%, por lo que existe una amplia oportunidad de mejora, ya que el equipo tiene la capacidad de llenar esa misma cantidad de metros cúbicos empleando un tiempo menor.

Los resultados por centro de trabajo se pueden observar en la Figura 50, para cada día de la semana 44 y 45. Se destaca el aprovechamiento en las líneas de O₂ y de Ar, así como la poca eficiencia alcanzada en el N₂ y en el CO₂.

Figura 50

Porcentaje de eficiencia por tipo de gas



Se consultan aportes de autores reconocidos y se obtienen los principales fundamentos teóricos que validan la inclusión de este indicador. Según Krajewski et al. (2008) la eficiencia indica la salida alcanzada del total que el sistema puede entregar, por lo que permite conocer el aprovechamiento de los recursos según el máximo que se puede generar o comparado a una tasa estándar. Además, según Chopra y Meindl (2008) las empresas que busquen controlar o minimizar los costos deben monitorear la eficiencia, ya que esta determina cómo se utilizan los recursos según los resultados alcanzados, también, determinar la eficiencia trae beneficios en la capacidad de respuesta esperada.

4.6.3. Productividad

La productividad indica la cantidad de metros cúbicos que se logran envasar según la cantidad de horas persona utilizadas. Se considera si se requiere de horas extra para el llenado, se genera de manera quincenal y se estima dividiendo la cantidad de metros cúbicos entre el total de horas que labora cada operador por centro de trabajo, incluyendo las extras. El comportamiento histórico de la productividad comparado con el valor esperado para este indicador al aplicar el plan agregado se puede visualizar en la Figura 25. Por otro lado, en la Tabla 48 se presenta el promedio histórico, el valor real y el resultado obtenido para la quincena bajo análisis por centro de trabajo.

Tabla 48

Productividad por centro de trabajo

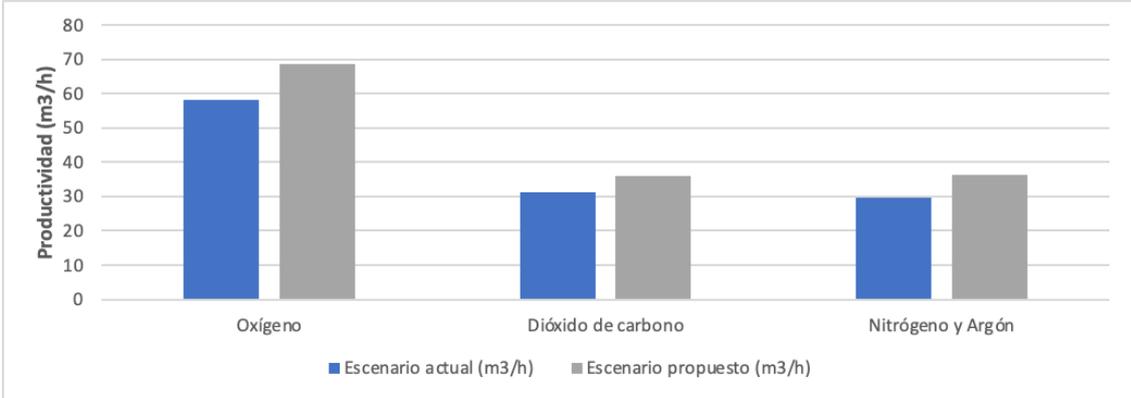
Centro de trabajo	Valor histórico (m ³ /h)	Escenario actual (m ³ /h)	Escenario propuesto (m ³ /h)
Oxígeno	57,8 ± 18,2	58,3	68,7
Dióxido de carbono	27,5 ± 4,9	31,2	36,1
Nitrógeno y Argón	38,1 ± 8,2	29,8	36,2

Los resultados obtenidos para los centros de O₂ y CO₂, superan el promedio histórico, se debe a que al planificar y distribuir la carga evitando picos de producción se logra disminuir la necesidad de horas extra, por lo que con menos horas persona empleadas

se llenan más metros cúbicos, el aumento en la productividad se presenta en la Figura 51. Al planificar la producción también se obtienen niveles más constantes de productividad, por lo que al implementar los procesos diseñados se debe medir a lo largo del tiempo este indicador y cuantificar cuánto es la desviación obtenida en comparación con la histórica.

Figura 51

Productividad por tipo de gas



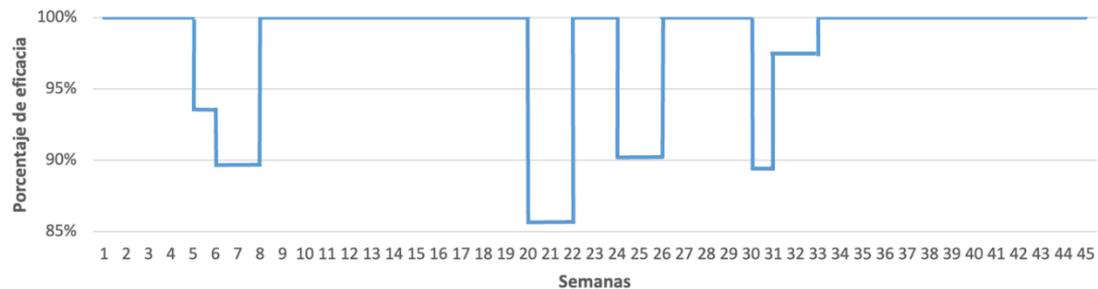
Por otra parte, para el centro de N₂ y Ar la productividad es 13,0% menor al promedio histórico, sin embargo, al analizar la desviación estándar se encuentra dentro del rango, por lo que no es un valor atípico. Este puede mejorarse con un mayor aprovechamiento de las líneas de trabajo, pues se pueden tener pedidos urgentes de hospitales que impliquen encender la bomba dos veces el mismo día y llenar bancos incompletos, lo cual explica porque se obtiene una productividad más baja que el promedio esperado.

4.6.4. Eficacia

Respecto a la eficacia del plan de producción, este indicador permite medir el porcentaje de cumplimiento que se alcanza al ejecutar lo planificado, se espera llegar al 100,0% en todos los periodos. Al no poder aplicar la planificación a nivel real, se compara el plan maestro de producción piloto con la cantidad de metros cúbicos envasados semanalmente para las primeras 45 semanas de 2022. Como resultado se encuentra que, en 39 de estas se puede cumplir con la cantidad a producir definida, por lo que el incumplimiento es de 13,3% del total de semanas. En la Figura 52 se detalla el comportamiento para el 2022.

Figura 52

Eficacia del MPS propuesto



Se debe continuar la medición de este indicador al incluir los procesos diseñados, ya que es de vital importancia para valorar si la propuesta del plan de producción es ejecutable, se ha añadido al panel de control para facilitar el registro y medición. Se procede a cuantificar el porcentaje faltante para abarcar el plan de producción en las seis semanas en las que no se lograría envasar lo planificado, el faltante promedio es de $9,2 \pm 3,2\%$, lo que representa alrededor de $657,3 \text{ m}^3$. Con la medición de la eficacia, se demuestra que el plan de producción propuesto es ejecutable, ya que en la minoría de veces y por un porcentaje menor al $10,0\%$ se incumple con el MPS propuesto.

4.7. Análisis de los indicadores de éxito del proyecto

La medición del éxito del proyecto se cuantifica a través de los indicadores de productividad, horas extra y nivel de servicio, se mide el impacto considerando los datos actuales que la empresa genera y compararla contra los resultados obtenidos a partir de la planificación propuesta en el diseño. El nivel de servicio es medido por la organización, por lo que se toman los datos generados en los reportes, a diferencia de la productividad y las horas extra que son propuestos para cuantificar el nivel de desempeño, los cuales no son estimados por la empresa actualmente.

4.7.1. Productividad

El primer indicador planteado propone un aumento en la productividad, para estimarlo se emplea la Ecuación 1, donde las unidades producidas se representan en metros cúbicos y el insumo empleado con las horas persona utilizadas para el llenado. El panel de control diseñado para medir el nivel de desempeño contempla este indicador, por lo que se ha analizado en la subsección 4.6.3, tanto desde el panorama actual como el propuesto en el diseño.

Del análisis realizado para las dos semanas de la planificación piloto, contra el comportamiento histórico de este indicador, se destaca que la productividad tiende a aumentar al implementar los procesos diseñados, hasta en un $31,0\%$, tal como se muestra en la Tabla 48, debido a que se disminuyen horas extra y se erradica el llenado de bancos incompletos, por lo que se aprovecha al máximo la capacidad de cilindros del banco. Por otra parte, al implementar una planificación nivelada se minimiza la desviación de los volúmenes de producción entre un periodo y otro, por lo que el indicador de productividad también disminuye la variabilidad, este comportamiento se presenta en la Figura 25.

Con la medición de este indicador se válida que el sistema diseñado permite la toma de decisiones informada, ya que se conoce el rendimiento por periodo y además, funciona para planificar cuántos m^3 se pueden envasar según la productividad esperada en el tiempo disponible. Los resultados obtenidos permiten evidenciar el éxito del proyecto, ya que con la validación se demuestra que se logra obtener un mejor rendimiento.

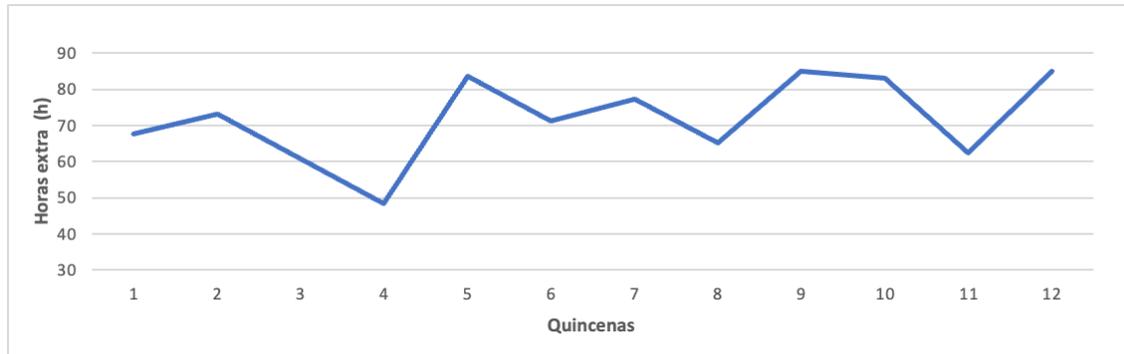
4.7.2. Horas extra

Se establece cuantificar las horas extra generadas con la intención de valorar el impacto de estas, se procede a medir la cantidad de horas extra en un periodo de producción que no fuese afectado por la pandemia, ya que durante este evento por la alta demanda de gases médicos existe la necesidad de horas extra para envasar los pedidos. Por lo que se mide de enero hasta junio de 2022, para luego compararse contra la cantidad de horas extra obtenidas para el mes de noviembre 2022 según la planificación propuesta.

En la Figura 53 se presentan los resultados en el histórico para las doce quincenas bajo análisis.

Figura 53

Horas extra por quincena



Los resultados indican que en promedio se tienen $139,3 \pm 41,9$ horas extra por mes históricamente, esto representa alrededor de $\text{C}\$301\,364$. Al comparar esta cifra con el salario de los operarios se encuentra que este representa el 86,0% del salario de un operario, por lo que se podría incluir a otro operario con una inversión por mes adicional de $\text{C}\$48\,636$. Las principales causas identificadas sobre la generación de estas son: La falta de cilindros disponibles, atrasos en la llegada de las rutas, llenados de urgencia para hospitales y picos de producción.

Al implementar los procesos diseñados, el encargado de realizar el MPS a nivel diario tiene la posibilidad de conocer cuánto tiempo se requiere para el llenado de cada gas para cada día, por lo que es posible saber en cuáles días se necesite de recursos adicionales para cumplir el requerimiento y en cuáles días existe tiempo ocioso que podría redistribuirse. Esto da la posibilidad de planificar las horas extra que se pueden esperar, según la cantidad que se propone envasar. Según el análisis de utilización realizado en la subsección 4.6.1, se encuentra que no se llega al límite de capacidad en ningún periodo, por lo que con una planificación de la producción adecuada se pueden disminuir las horas extra.

En la etapa de validación se presentan los resultados obtenidos para este indicador a la jefe de planta, basado en el conocimiento sobre el sistema productivo y teniendo en cuenta las mejoras que se pueden alcanzar con los procesos diseñados, se establece como meta minimizar en un 50,0% las horas extra generadas actualmente.

Además, al medir este indicador para la planificación piloto se encuentra que para la quincena de las semanas 44 y 45, únicamente se requirieron de 18,5 horas extras relacionadas al envasado de pedidos urgentes de hospitales, los cuales son inevitables debido a las políticas establecidas con este tipo de clientes, por lo que bajo este escenario, se logra disminuir en un 64% la necesidad de horas extra, con lo que se comprueba que el sistema integrado de planificación y control diseñado permite la reducción de costos, por lo que se válida el éxito del proyecto, ya que se demuestra que se logra minimizar las horas extra.

4.7.3. Nivel de servicio

Como tercer indicador de éxito se establece medir el nivel de servicio, para este se utiliza la Ecuación 3, se mide el indicador a lo largo del tiempo y se compara contra el nivel alcanzado para las dos semanas de la planificación piloto, se tiene como meta atender el 99,0% de los pedidos que ingresan. Se analiza desde enero 2021 hasta abril 2022, dicho comportamiento histórico puede detallarse en la Figura 23. En este periodo, se encuentra que se cumple la meta en todos los meses bajo análisis, con un promedio de 99,6%, por lo que el cumplimiento es adecuado y se espera mantenerlo al implementar los procesos diseñados.

Respecto la planificación piloto, se encuentra que durante el periodo de análisis se logra cumplir con el 100,0% de los pedidos ingresados al sistema, para lograr esto se requiere de 18,5 horas adicionales, ya que en la semana 44 los operarios tuvieron que entrar 2,5 horas antes durante dos días para envasar los pedidos en firme, sin embargo, se cumple con la meta establecida, por lo que se comprueba que al implementar la propuesta se mantiene el rendimiento establecido para el nivel de servicio.

Además, durante las pruebas piloto se cuenta con cada tipo de cilindro para cada gas que es requerido, por lo que, bajo este escenario, se comprueba que el sistema integrado de planificación y control diseñado permite satisfacer los pedidos de los clientes, por lo que contribuye a la sostenibilidad de la empresa, basado en esto, se valida el éxito del proyecto se logra mantener el nivel de servicio deseado.

4.8. Conclusiones de la validación

A partir de la ejecución del proceso de estimación de la demanda, se obtienen los datos de pronóstico para el año 2022, los cuales se utilizan como insumo para la elaboración del plan de producción y la planificación de la capacidad operativa. Como resultado, se alcanza un error de pronóstico MAPE de 11,1%, donde se alcanza una disminución de 15,7%, lo que se traduce en $\$187\,476\,705$. Con los resultados anteriores, se infiere que la empresa puede mejorar la planificación de la producción, ya que se tiene control sobre $49\,594\text{ m}^3$, lo cual se traduce en 3 semanas de trabajo, convertido a inventario con el cual se puede ejecutar una planificación.

En cuanto al proceso de planificación de la producción, se consideran los resultados obtenidos de estimación de la demanda y se genera un plan agregado de producción para cada una de las 45 semanas bajo análisis, dicho plan de producción se compara contra las ventas reales del periodo correspondiente. Como resultado, se logran disminuir las roturas de demanda en un 31,0%, lo cual se traduce a $12\,849\text{ m}^3$, además, la representación de la rotura sobre la demanda se reduce de 10,0% a 4,0%. De lo anterior se infiere que, con el plan de producción elaborado se logra la disminución de al menos 44 horas extra, representando un ahorro de $\$94\,863$ por operario y una venta potencial adicional de $\$119\,095\,775$.

Relacionado con la ejecución del proceso de planificación de la capacidad operativa, se ejecuta el modelo de programación lineal con los datos generados a partir del plan de producción y se determina la cantidad óptima de cilindros a producir diariamente, el análisis se realiza para las semanas 44 y 45 del año 2022, se estudia el rendimiento del plan operativo frente a la demanda real sin considerar la capacidad de los recursos disponibles y seguido, se analizan los resultados agregando la restricción de capacidad de cilindros disponibles. Entre los resultados obtenidos, se tiene que el plan operativo

mantiene roturas en el 66,0% de los días analizados, donde el día con menor afectación mantiene un faltante de 1 cilindro y el mayormente afectado representa un faltante de 107 cilindros. De lo anterior se infiere que, es necesario el estudio y corrección del porcentaje de distribución de ventas por SKU utilizado, ya que, al realizar el análisis por tipo de producto se obtienen roturas en 12,0%, lo que deja en evidencia que, al desagregar el plan operativo por SKU se ve afectado el rendimiento del modelo.

Con respecto al análisis de escenarios, se estudia el desempeño del sistema diseñado a partir de la variación de tres diferentes métricas: Demanda, cilindros disponibles y distribución del plan agregado por tipo de producto. En cuanto a los resultados obtenidos para la variable de demanda, para el escenario del -10,0% se obtiene solamente una rotura de demanda con una representación de 0,4,0% del total, por otro lado, en el escenario del +10,0% se generan 16 semanas con roturas cuyo promedio representa 8,0% de la demanda. A partir de lo anterior, se concluye que el sistema diseñado se adapta a las fluctuaciones de la demanda, ya que, se mantiene en promedio un 37,0% de inventario de seguridad el cual no amenaza la capacidad de almacenamiento debido a la alta rotación de los productos; es decir, no se tienen excesos de inventario y las roturas obtenidas no superan el 8,0% de la demanda total.

Para la variable de cilindros disponibles, se estudian cuatro escenarios de $\pm 5,0\%$ y $\pm 10,0\%$ con el fin de identificar la sensibilidad del sistema respecto a la cantidad de cilindros disponibles diariamente para el envasado. Los resultados obtenidos indican que con las variaciones se obtienen faltantes en 11 días de los 12 analizados, con un promedio de 24 cilindros al día, lo cual representa hasta un 29,0% de los cilindros totales requeridos en las dos semanas bajo análisis. De lo anterior se concluye que, el sistema diseñado se encuentra afectado por la cantidad de cilindros disponibles y los faltantes podrían representar hasta $\$ 1\ 386\ 000$ diarios, sin embargo, dicho análisis se encuentra influenciado por el porcentaje de distribución de ventas que debe ser actualizado, por lo tanto, los resultados obtenidos mantienen una potencial oportunidad de mejora.

En relación con lo anterior, al realizar el análisis de sensibilidad para la variable de distribución del plan agregado por tipo de producto mediante el estudio de dicho porcentaje para dos años sin la eventualidad de la pandemia, se disminuyen las roturas de las 45 semanas analizadas en un 5% correspondientes a $15\ 822\ m^3$. Se concluye que, al utilizar un porcentaje de distribución de ventas basado en datos sin la afectación de eventos atípicos, el plan de producción elaborado obtiene mejoras en el rendimiento, principalmente relacionadas a las roturas y faltante de cilindros, lo que deriva a un mejor uso de los recursos disponibles y un potencial ahorro de hasta 395 horas extra semestrales que se utilizan por la falta de planificación de la producción.

Respecto a la medición de los indicadores, se cuantifica la utilización, eficiencia, productividad y eficacia para la semana 44 y 45 de la planificación piloto, obteniendo como resultado el nivel de desempeño. La utilización indica que existe capacidad ociosa desde un 77% hasta un 43% por lo que se comprueba que el plan de producción propuesto es ejecutable, por otra parte, al medir la productividad se obtiene un aumento en los metros cúbicos envasados por hora persona hasta de 31%, esto se logra al reducir las horas extra. La eficiencia llega a un valor de 40,4% por lo que existen posibles mejoras en la tasa de llenado, como minimizar el envasado de bancos incompletos, con esto se espera que al aumentar la eficiencia disminuya la utilización. Con los resultados

obtenidos, se concluye que la planificación propuesta es ejecutable y se mejora el rendimiento del sistema productivo al utilizar los procesos diseñados.

Conclusiones

A partir del diseño del sistema integrado de planificación y control de la producción, capacidad, inventarios y medición del desempeño de la empresa INFRA GI de Costa Rica, se realiza una estandarización procedimental e incorporación de conceptos técnicos a los procesos de planificación, de tal manera que fuese posible estructurar y vincular los componentes necesarios para la toma de decisiones operativas. Como resultado, la organización cuenta con un sistema integrado que permite la planificación de hasta 49 594 m³, además, se posibilita la reducción de hasta 76,8 horas extra quincenales, lo cual representa aproximadamente 1996 horas anuales. Adicionalmente, el sistema diseñado permite la reducción de la cantidad de roturas de 42% a 11%; es decir, 14 semanas eliminan la rotura con la planificación diseñada, y el impacto sobre la demanda disminuye en 6%, representando así alrededor de 12 849 m³. Con los resultados anteriores se infiere que, la empresa podría percibir un ahorro anual aproximado de ₡4 191 600 en horas extra, o bien, ₡119 080 500 por la potencial pérdida de ventas debido a las roturas. Además, con la planificación basada en pronósticos estadísticos la empresa controla cerca de 7959 cilindros anuales que podrían representar potenciales gastos en horas extra o pérdidas de ventas.

Por medio del modelo de planificación a nivel operativo diseñado, se obtiene la cantidad óptima de bancos a producir diariamente, de modo que fuese posible la gestión adecuada de los recursos disponibles en mano de obra, cilindros vacíos y equipo. Como resultado, al distribuir el plan de producción operativo a nivel de SKU diario y ejecutar el análisis para las semanas 44 y 45, se obtienen roturas en 8,33% de los productos bajo análisis con un promedio de 13 para Ar, 3 cilindros para CO₂, 5 para N₂ y 53 para O₂, representando así en promedio un 10,85% de la demanda total, lo cual se encuentra dentro de los parámetros aceptables para la validación del modelo de secuenciamiento diseñado. A partir de lo anterior se concluye que, el diseño propuesto provee a la organización un proceso que permite la planificación adecuada de los cilindros vacíos necesarios para cumplir con la demanda, adicionalmente, al tener conocimiento del requerimiento de producción diario, se elimina la necesidad de encender la bomba dos o más veces al día, lo que resulta beneficioso en términos de disminución del desgaste e inadecuado uso de los equipos y de desperdicios de materia prima. Asumiendo que cada fuente de desperdicio identificada representa el 25,0%, el ahorro alcanzado por la planificación representa aproximadamente ₡3 252 225 mensuales.

Al diseñar el proceso de seguimiento y control del desempeño, se incluye el registro y la medición de los indicadores, con lo que se obtiene el nivel de rendimiento por periodo. Como resultado, la utilización suele mantenerse por niveles inferiores al 57%, por lo que la empresa puede ejecutar planes de acción para hacer uso de la capacidad ociosa generada en la atención de nuevos clientes. Además, al comparar el panorama actual contra el propuesto para la eficiencia, productividad y eficacia, se demuestra que con una planificación estructurada se minimizan los niveles de variabilidad de la producción, de modo que se disminuye el uso de recursos adicionales. A partir de estos resultados se infiere que, la planificación diseñada permite la generación de datos de control que sirven para la toma de decisiones informada y aumenta el rendimiento, ya que se

estipula disminuir las horas extra en un 50% generando un ahorro de hasta ₡150 682 mensuales, y además se incrementa la productividad hasta en 9,6 m³/h adicionales, lo cual se cuantifica como el llenado de dos bancos completos por semana, con lo que se genera un ahorro de 5,5 horas persona lo que representa alrededor de ₡10 938 semanalmente, es decir ₡43 750 mensuales.

Al validar los indicadores de éxito se comprueba el cumplimiento del objetivo del proyecto, dado que se aumenta la productividad esperada en un 31%, se disminuyen las horas extra y se logra establecer la meta para controlar el total generado por periodo, y además, se mantiene el nivel de servicio, el cual es de 99,6%, por lo que se valida que el sistema de planificación y control diseñado permite la reducción de los costos y la toma de decisiones informada para satisfacer los requerimientos del cliente. Asimismo, se alcanzan los beneficios estipulados al inicio del proyecto, ya que se reducen los costos y se mejoran las operaciones, lo cual contribuye a la estabilidad de la organización asegurando el empleo de los trabajadores y facilitando el suministro de O₂ médico para el sector salud, debido a esto se disminuye el tiempo adicional requerido lo que implica en reducir costos por consumo energético.

Finalmente, a partir del diseño del sistema integrado de planificación y control de la producción, capacidad, inventarios y medición del desempeño de la empresa INFRA GI de Costa Rica, se obtienen mejoras significativas en los resultados anteriormente descritos, con lo cual, a partir de ahora la organización cuenta con los procesos necesarios y adecuados para llevar a cabo las operaciones de tal forma que permita la reducción de los costos, la toma de decisiones informada para satisfacer los requerimientos del cliente y se contribuya a la sostenibilidad de la empresa.

Recomendaciones

Se recomienda replicar el diseño elaborado durante el proyecto para la familia de líquidos, ya que, debido al alcance de este, dicha familia no forma parte del análisis y del sistema integrado. En este caso, se identifica que los líquidos mantienen un potencial de mejora relacionado a los desperdicios generados, por lo tanto, la creación de un sistema de planificación podría repercutir en mejoras significativas en el desempeño de la organización.

A partir del estudio de sensibilidad, se identifica que la planificación de la producción se ve afectada por las fluctuaciones de la demanda, por lo tanto, al profundizar en el comportamiento del plan de producción elaborado, se determina que, si el error de pronóstico se logra disminuir entre un 5,0% y 10,0%, el desempeño del plan obtendría mejoras. La disminución del error de pronóstico se alcanza a partir de la ejecución adecuada del pronóstico colaborativo mediante el equipo interfuncional, la corrección de datos atípicos y la identificación de eventualidades.

Con respecto al proceso de requerimiento de materiales, se identifica durante la ejecución del proyecto que el rendimiento actual es adecuado, por lo tanto, dicho proceso no fue rediseñado, sin embargo, se recomienda utilizar los resultados de los pronósticos de demanda generados para la puesta de órdenes de producto, ya que, contribuyen a la ejecución adecuada del plan de producción elaborado.

Con los resultados obtenidos en el plan de producción, se encuentra que, la actualización del porcentaje de distribución del plan agregado por tipo de producto es indispensable para alcanzar mejores resultados en cuanto a las roturas de demanda obtenidas, dicho porcentaje se debe actualizar de manera semanal, ya que, al realizar el análisis de sensibilidad analizando cuatro diferentes escenarios, se determina que con este periodo de actualización, el plan de producción obtiene la menor cantidad de roturas, y por ende, el mayor rendimiento.

A partir del estudio realizado respecto a la disponibilidad de cilindros, se identifica que la planificación diseñada es altamente sensible a la cantidad de cilindros vacíos disponibles para completar la producción diaria, por lo tanto, se recomienda que, para obtener el mejor desempeño del sistema integrado, la empresa debe considerar la gestión adecuada de 59 cilindros adicionales al lote que actualmente se posee, o bien, la inversión en la compra de estos.

Derivado del estudio de tiempos ejecutado, se determina que la organización debe considerar la reducción de la fracción de error aceptable del promedio, ya que, con esta acción, se podrían obtener tiempos estándar más representativos estadísticamente, lo que permitiría alcanzar mejoras en el sistema de planificación de la capacidad diseñado. En este caso, se utiliza $K = 9,0\%$, debido a que, por la realidad de la empresa y los tiempos de producción, completar tamaños de muestra para un error menor, se encuentra fuera del alcance del proyecto.

Finalmente, con el fin de mejorar la gestión del lote de cilindros actual, se plantea considerar un enfoque de control hacia los cilindros de los pedidos de los clientes frecuentes, por medio de una base de datos en la cual se incluyan las entradas y las salidas, de tal manera que la empresa monitoree las fechas, cantidad por SKU y retornos de estos.

Referencias bibliográficas

- Báez, M. y Brunner, S. (2001). Metodología DoRCU para la Ingeniería de Requerimientos. In WER.
- Ballou, H. R. (2004). *Logística. Administración de la Cadena de Suministro*. Pearson Educación, 5ta edición.
- Chapman, S. N. (2006). *Planificación y control de la producción*. Pearson Educación. <https://elibro-net.ezproxy.sibdi.ucr.ac.cr/es/ereader/sibdi/74116?page=1>
- Chase, B., Jacobs, R. y Aquilano, N. (2009). *Administración de operaciones producción y cadena de suministros*. McGraw Hill. Duodécima edición
- Chopra, S. y Meindl, P. (2008). *Administración para la Cadena de Suministro, Estrategia, Planeación y Operación*. Pearson Educación. Tercera Edición.
- Companys Pascual, R. (2009). *Nuevas técnicas de gestión de stocks: MRP y JIT*. Marcombo. <https://elibro-net.ezproxy.sibdi.ucr.ac.cr/es/ereader/sibdi/45851?page=15>.
- Cruz F. A. (2017). *Gestión de inventarios. UF0476*. IC Editorial. <https://elibro-net.ezproxy.sibdi.ucr.ac.cr/es/ereader/sibdi/59186?page=52>.
- Cuatrecasas Arbós, L. (2012). *Planificación de la producción: gestión de materiales*. Ediciones Díaz Santos. <https://elibro-net.ezproxy.sibdi.ucr.ac.cr/es/ereader/sibdi/62614?page=5>.
- Fallas, J. (2007). *Modelos digitales de elevación: Teoría, métodos de interpolación y aplicaciones*. <https://www.researchgate.net>
- Frazelle, E. (2002). *Supply Chain Strategy*. McGraw-Hill.
- García, E. y Goncalves, M. (2022). Plan estratégico para la gestión de la calidad basado en la metodología del Balanced Scorecard. Revista TEKHNE, 96–114. Caracas, Venezuela.
- Ghiani, G., Laporte, G., Musmanno, R. (2004). *Introduction to Logistics Systems Planning and Control*. John Wiley & Sons Ltd.
- González, H. J. A. (2003). *Administrar para producir*. <https://ebookcentral-proquest-com.ezproxy.sibdi.ucr.ac.cr>
- Gómez, I., y Brito, J. (2020). *Administración de Operaciones*. Universidad Internacional del Ecuador. c
- Gupta, S. y Starr, M. (2014). *Production and Operations Management Systems*. Taylor & Francis Group.
- Heizer, J. y Render, B. (2004). *Principios de administración de operaciones*. Pearson Educación. Quinta Edición.
- Heizer, J. y Render, B. (2007). *Administración de la producción*. Pearson Educación. Primera Edición.

- Heizer, J. y Render, B. (2008). *Dirección de la producción y de operaciones*. Pearson Educación. Octava Edición.
- Hyndman, R., Koehler, A., Ord, J. and Snyder, R. (2008) *Forecasting with Exponential Smoothing: The State Space Approach*, Berlin, Springer-Verlag
- Hopp, W. J., y Spearman, M. L. (2008). *Factory Physics: Foundations of Manufacturing Management*. McGraw Hill.
- INFRA GI de Costa Rica. (2021). ¿Quiénes somos? <https://www.infragicr.com>
- Krajewski, L., Rotzman, L., y Malhotra, M. (2008). *Administración de operaciones*. Pearson Educación. Octava Edición.
- Monsalve, F. (2018). *Planificación de operaciones de manufactura y servicios*. Instituto Metropolitano. <https://elibro-net.ezproxy.sibdi.ucr.ac.cr/es/ereader/sibdi/105644>
- Niebel, B., y Freivalds, A. (2009). *Ingeniería Industrial: Métodos, estándares y diseño del trabajo*. McGraw-Hill.
- Orejuela, J. (2014). *Psicología de las organizaciones y del trabajo: Apuestas de investigación*. Editorial Bonaventuriana.
- Palacios, L. C. (2019). *Administración de la producción*. Ecoe Ediciones. <https://elibro-net.ezproxy.sibdi.ucr.ac.cr/es/lc/sibdi/titulos/126179>
- Pelea, L. P. (2019). Valores atípicos en los datos, ¿cómo identificarlos y manejarlos? - Outliers in data sets, how identify and handling them? *Revista Del Jardín Botánico Nacional*, 40, 99–107. <https://www.jstor.org/stable/26937051>
- Pérez, D. (2007). *Gestión de operaciones*. Escuela de Organización Industrial. <https://static.eoi.es/savia/documents/componente48042.pdf>
- Prado, P., García, A., y Fernández, G. (2020). *Fundamentos de Gestión de la producción*. Dextra Editorial. <https://elibro-net.ezproxy.sibdi.ucr.ac.cr/es/ereader/sibdi/130762>
- Sipper, D., y Bulfin, R. (1998). *Planeación y Control de la Producción*. México, McGraw-Hill.
- Slack, N., Brandon, A., y Johnston, R. (2013). *Operations Management*. Pearson Educación. Séptima Edición.
- Stadtler, H., Kilger, C., Meyr, H. (2015). *Supply Chain Management and Advanced Planning*. <https://link-springer-com.ezproxy.sibdi.ucr.ac.cr/book/10.1007/978-3-642-55309-7>
- Ushiña, L. J. S. (2006). *Propuesta de mejoramiento para proceso de cobranza operativa que realiza Recaudadora del Ecuador S.A.* Escuela Politécnica Nacional. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2639/1/CD-0429.pdf>
- Vilar, J. F. (2005). *Control estadístico de los procesos*. España. FC Editorial. <https://books.google.co.cr/books?id=jc1qaKMBYvIC&printsec=frontcover&dq>

Abreviaturas y acrónimos

Ar: Argón.

AVA: Actividad de valor agregado.

CO₂: Dióxido de Carbono.

CRP: Capacity Requirements Planning (Planificación de los requerimientos de capacidad).

h: hora.

IS: Inventario de seguridad.

kg: Kilogramos.

LCI: Límite de control inferior.

LCS: Límite de control superior.

m³: Metros cúbicos.

m³/h: Metros cúbicos por hora.

MAPE: Mean Absolute Percentage Error (Error Porcentual Absoluto Medio).

min: Minutos

MPS: Master Production Schedule (Plan maestro de producción).

MRP: Materials Requirements Planning (Planeación de los requerimientos de material).

MTO: Make-to-order (Fabricación por pedido)

MTS: Make-to-stock (Fabricación para inventario)

N₂: Nitrógeno.

NVA: Actividad de no valor agregado.

O₂: Oxígeno.

SKU: Stock Keeping Unit (Código de artículo).

Apéndices

Apéndice 1. Distribución de ventas totales entre los productos bajo estudio

La empresa INFRA GI de Costa Rica maneja cinco diferentes familias: gases, líquidos, relativos, servicios y soldaduras. La Tabla 1.1 presenta el porcentaje de ventas asociado a los productos bajo estudio, de lo cual se observa que el oxígeno representa la mayor proporción.

Tabla 1.1.

Ventas totales por producto de enero a setiembre de 2021

Producto	Total	Distribución del total de ventas	Distribución del 27,74%
Oxígeno	₡ 635 600 193	15,9%	57,3%
Argón	₡ 232 247 389	5,8%	20,9%
Nitrógeno	₡ 97 063 610	2,4%	8,8%
Dióxido de Carbono	₡ 144 970 188	3,6%	13,1%
Total	₡ 1 109 881 380	27,7%	100,0%

Nota. Las ventas totales de enero a setiembre de 2021 son de ₡3 982 054 715.

Apéndice 2. Listas de chequeo y porcentaje de cumplimiento de buenas prácticas

Se presentan en esta sección los lineamientos de los autores reconocidos en la temática, con el fin de determinar el porcentaje actual de cumplimiento de buenas prácticas. Se coloca una x en “sí” cuando el proceso bajo análisis cumple con la totalidad de lo dictado por la literatura, en “no” cuando el lineamiento no se encuentra presente en el proceso y en “parcial” cuando se cumple parte de la pauta. Además, se añade una lista de observaciones, brindando la justificación del criterio seleccionado.

Tabla 2.1.

Lista de chequeo de buenas prácticas de estimación de la demanda

Lista de chequeo estimación de la demanda - INFRA GI de Costa Rica					
Actividad		Evaluación de la pertinencia del método de estimación de la demanda			
N°	Variable/Actividad	Cumple			Observaciones
		Sí	No	Parcial	
1	Se tiene una documentación real, confiable y accesible de ventas de períodos pasados.	X			Cuentan con reportes de producción que indican la demanda de periodos anteriores.
2	Se lleva un registro transparente y continuo de las ventas.	X			Documentación de la producción y ventas cumplidas.
3	Segregan las ventas en función de los datos de interés.	X			Se divide en grandes familias (O ₂ , N ₂ , Ar, CO ₂).
4	Al estimar la demanda se toma en cuenta la estrategia de y una investigación de mercado que respalde las decisiones.	X			Se entrevistan a los clientes para conocer cuál podría ser el comportamiento de los pedidos.
5	Se incluye la lista de componentes de cada producto.		X		Los pronósticos se enfocan hacia el área financiera.
6	Se tiene definido y controlado los factores externos e internos que podrían afectar la estimación de la demanda.		X		Tienen definidos los factores que podrían afectar la demanda.
7	Se toma en cuenta los objetivos estratégicos de la organización.	X			Se tienen estrategias definidas en el presupuesto.
8	Se cuenta con un encargado de realizar esta estimación y un trabajador que revise y valide los resultados obtenidos.	X			La gerente de planta los realiza.
9	El método utilizado responde a los datos que tienen, se adecua a la cantidad de datos, el plazo y la vigencia de los datos.		X		Solamente se utiliza un año para pronosticar, no se estudia el comportamiento de la demanda.
10	Utilizan estadística descriptiva para los pronósticos, cumplen con la confianza y requerimientos del análisis estadístico.		X		No, se realiza con criterio experto y un método empírico.
11	Validación para asegurar un análisis estadístico correcto.		X		No se realiza un análisis estadístico.
12	Se calcula el error de las estimaciones realizadas y se toma en cuenta para futuros pronósticos.			X	No se considera para realizar cambios en el método de estimación ni se cuenta con una meta.
13	Realizan procesos de simulación para el análisis de distintos escenarios y estos son tomados en cuenta al definir la demanda.		X		No realizan procesos de simulación de la demanda.
Porcentaje de cumplimiento		46%	46%	8%	

Nota. Tomado de *Planeación de la Producción*, por Zuluaga, C., 2004, Universidad EAFIT.

Tabla 2.2.

Lista de chequeo de buenas prácticas de estandarización

Lista de chequeo capacidad de producción - INFRA GI de Costa Rica					
Actividad			Análisis de los estándares de trabajo utilizados		
N°	Variable/Actividad	Cumple			Observaciones
		Sí	No	Parcial	
1	Se utilizan técnicas de diagramación para cada proceso.	X			Diagrama de carriles de piscina.
2	Se determinan y se documentan las tareas y la secuencia.	X			Procedimiento para envasado por producto.
3	Se indica en cada actividad la relación con los recursos y el tiempo.		X		No conocen los tiempos estándar de producción.
4	Se tiene definido y se respeta el método de trabajo.			X	El proceso se da con secuencia diferente.
5	Se conoce el tiempo estándar del proceso.		X		
6	Se realizan auditorías de proceso para mantener el estándar.	X			3 auditorías internas y 1 externa anual.
7	Se examinaron los datos utilizados para la definición del estándar y se validó que el método utilizado es el más eficiente.		X		Cuentan con tiempos de ciclo aproximados, los datos utilizados no son confiables.
8	Se utilizaron herramientas como muestreo del trabajo, estudio de tiempos, normas de tiempo predeterminados.		X		
9	Se tiene una Ficha Estándar de Proceso que indique el número de trabajadores, materiales, herramientas, equipos.	X			
10	Se informa el estándar a las partes interesadas.	X			
11	Las partes interesadas comprenden el estándar.	X			
12	El estándar incluye condiciones, materiales y equipos, métodos, procedimiento y habilidades.			X	Incluye el procedimiento y los encargados, pero no recursos, herramientas ni condiciones.
13	Se actualiza el estándar según las necesidades.			X	Se realizan cambios pertinentes en el método.
14	Se tienen, registran y utilizan indicadores de desempeño.		X		No se mide el desempeño de la línea.
15	Durante la estandarización, se considera el personal operativo.	X			Se considera la opinión de los operadores.
16	Condiciones de trabajo permiten el cumplimiento del estándar.		X		No hay claridad del estándar.
17	Se tiene documentación del estándar (Ej. Manual).			X	No se cumple, no conocen tiempos.
18	Se capacita al personal para cumplir los estándares.		X		Se capacita al operario nuevo.
Porcentaje de cumplimiento		39%	39%	22%	

Nota. Tomado de *Fundamentos de Gestión de la producción*, por Prado, et al., 2020, Dextra Editorial. / Tomado de *Planificación y control de la producción*, por Champan, 2006, Pearson Educación.

Tabla 2.3.

Lista de chequeo de buenas prácticas de planificación

Lista de chequeo planificación de la producción - INFRA GI de Costa Rica					
Actividad		Análisis del método de planificación de la producción			
N°	Variable/Actividad	Cumple			Observaciones
		Sí	No	Parcial	
1	Se realizan pronósticos de la demanda.		X		No se utiliza ningún modelo de pronóstico.
2	El método de pronóstico es adecuado (errores aceptables).		X		No se mide el error de pronóstico.
3	Se tiene un horizonte de tiempo definido y es adecuado.			X	Hacen presupuesto a 1 año, con enfoque económico
4	Se conoce la capacidad de la planta y los parámetros que condicionan el sistema productivo.		X		No se conoce la capacidad de la planta (Ej. Se desconocen los tiempos de ciclo).
5	Se realiza la planificación conforme a la capacidad.		X		No hay planificación de producción.
6	Se conoce y se utiliza la lista de materiales por producto.			X	No conocen la lista de materiales.
7	Se conocen los niveles de stock de cada componente.	X			
8	Se hace el req. de materiales con necesidades netas.		X		No se estiman las necesidades netas.
9	Se tiene control de informes de posibles retrasos en los pedidos de requerimientos.	X			
10	Se revisan periódicamente las necesidades de planeación.		X		No hay planificación.
11	Se utiliza un método adecuado y crítico de planeación.		X		No hay planificación.
12	Se emplean tecnologías de información que contribuyan a una buena planeación.			X	Tienen sistemas informáticos de alto nivel, pero no se utilizan para la planificación.
13	Se tienen indicadores de desempeño y utilizan los resultados.		X		No hay planificación.
14	Se analizan los datos que alimentan la planificación.		X		No hay planificación.
15	Se consideran otras fluctuaciones de la demanda propuestas por el mercado o contexto externo.			X	Analizan las fluctuaciones para ajustar el presupuesto anual, pero no para planificación.
Porcentaje de cumplimiento		13%	60%	27%	

Nota. Tomado de *Administración de las operaciones productivas: conceptos, casos y ejercicios* razonados, por D'Alessio, 2018, Pearson Educación. / Tomado de *Fundamentos de Gestión de la producción*, por Padro, et al., 2020, Dextra Editorial. / Tomado de *Planificación de la producción: gestión de materiales*, por Cuatrecasas, 2012, Díaz de Santos. / Tomado de *Planeación y control de la producción*, por Sipper y Bulfin, 1998, McGraw-Hill.

Tabla 2.4.

Lista de chequeo de buenas prácticas de secuenciamiento

Lista de chequeo secuenciamiento de tareas - INFRA GI de Costa Rica					
Actividad		Evaluación de la capacidad de adaptación del sistema de secuenciamiento			
N°	Variable/Actividad	Cumple			Observaciones
		Sí	No	Parcial	
1	Se identifican los factores externos que afectan en el cumplimiento de la producción (proveedores, fronteras, condiciones climatológicas, entre otros).	X			Conocen los posibles factores externos como el tiempo de entrega de los proveedores, el trámite fronterizo y se tienen acciones delimitadas.
2	Se identifican los factores internos que afectan en el cumplimiento de la producción (procesos, incapacidad laboral, tiempos muertos, entre otros).		X		No se relacionan los tiempos muertos, paros o afectaciones en el proceso productivo con el cumplimiento de la producción.
3	El secuenciamiento considera tiempo de alisto.		X		No se tiene estipulado ningún tiempo estándar.
4	Se contempla el mantenimiento de las máquinas dentro del secuenciamiento.			X	Se contemplan los momentos del mantenimiento para cada tanque de gas.
5	Se identifican y enumeran las actividades que requiere cada proceso y los requerimientos para realizar el secuenciamiento orientándose en las actividades.			X	Se tiene identificada cada actividad, pero, no se realiza el secuenciamiento de la producción a nivel de tareas.
6	Se conocen los tiempos estándar de cada actividad.		X		Se desconocen los tiempos estándar de cada actividad. Nunca se ha hecho estudio de tiempos.
7	Se priorizan los productos por tandas de producción, agrupando los similares y separando los diferentes.	X			Al ejecutar la producción tratan de adjuntar la mayor cantidad de bancos del mismo gas.
8	Se lleva un registro y documentación de los fallos durante la producción.			X	Registran los fallos en el llenado de cilindros, pero no registran errores al ejecutar la producción por parte de operarios o paros.
9	Se estipulan acciones correctivas para cada posible fallo.	X			
10	Se tiene definida una meta o valor de desviación que integre el tiempo improductivo, de modo que, permita abarcar las tareas a realizar sin generar atrasos.		X		No existe alguna métrica que integre o estudie el tiempo real al ejecutar las tareas para lograr los requerimientos de producción.
Porcentaje de cumplimiento		30%	40%	30%	

Nota. Tomado de *Operations Management*, por Slack, N et al., 2013, Pearson Educación.

Tabla 2.5.

Lista de chequeo de buenas prácticas de estimación de los niveles de stock

Lista de chequeo Planeación del Inventario - INFRA GI de Costa Rica					
Actividad		Evaluación del método utilizado para la estimación del stock			
N°	Variable/Actividad	Cumple			Observaciones
		Sí	No	Parcial	
1	Se considera la demanda para planear el inventario.		X		No realizan planeación del inventario.
2	Se tiene una unidad de medida establecida.	X			Cantidad de tanques.
3	Se tiene establecido el tamaño y la frecuencia de los pedidos.		X		Se desconoce el punto de reorden óptimo.
4	Se tienen identificadas las fluctuaciones en la demanda.		X		No hay análisis estadístico derivado al inventario.
5	Se conoce la cantidad óptima a pedir, almacenar y manipular que hace mínimos los costes totales.		X		No realizan planeación del inventario.
6	Se tiene en cuenta todos los costos en los que incurre la organización por el almacenamiento.		X		No estiman costos asociado a tenencia de inventario.
7	Se localizan los materiales de modo que puedan ser fácilmente identificados e inventariados.	X			Todos los materiales están debidamente identificados e inventariados en un sistema digital.
8	Se identifica de manera clara y precisa cada artículo.	X			Todos los tanques cuentan con la identificación.
9	Se tienen instrucciones claras y precisas que permita conocer a cada persona la responsabilidad.	X			Los operarios conocen la función respecto al manejo del inventario.
10	Se realiza un recuento físico de las unidades almacenadas.	X			Sistema que lee los códigos permite el recuento.
11	Se formaliza al personal encargado de realizar el recuento.	X			
12	Se tienen indicadores de gestión de stock.		X		No estipulan indicadores.
13	Se clasifica la importancia de cada artículo.			X	No se cuenta con algún parámetro establecido.
14	Se conoce el lead time de reabastecimiento.			X	Se conoce el tiempo de los proveedores de materia prima, pero no el lead time de los cilindros.
Porcentaje de cumplimiento		43%	43%	14%	

Nota. Tomado de *Gestión de inventarios. UF0476*, por Cruz, 2017, IC Editorial. / Tomado de *Fundamentos de Gestión de la producción*, por Prado, et al., 2020, Dextra Editorial. / Tomado de *Administración de Operaciones*, por Gómez y Brito, 2020, Universidad Internacional del Ecuador.

Tabla 2.6.

Lista de chequeo de buenas prácticas de reabastecimiento de inventario

Lista de chequeo Reabastecimiento de Inventario - INFRA GI de Costa Rica					
Actividad		Evaluación del método utilizado para el reabastecimiento del inventario			
N°	Variable/Actividad	Cumple			Observaciones
		Sí	No	Parcial	
1	Se tiene algún método de reabastecimiento establecido.	X			Pedidos semanales de materia prima.
2	Se conoce el nivel de gasto anual de la empresa en reabastecimiento.		X		No estiman costos asociados a inventario. No se realiza un costeo del gasto por reabastecimiento.
3	Se conoce el impacto de no disponer de cierto producto o materia prima.			X	Se conoce los efectos de no disponer de materia prima, pero, no se delimita el impacto de este.
4	Se conoce la oportunidad y riesgo del reaprovisionamiento.		X		No se analiza el reabastecimiento de inventario.
5	Estrecha relación con los proveedores y se evalúan.	X			
6	Se agrupan los productos por tipo o familia.	X			Zonificado por productos y grupos de productos.
7	Se agrupan los diferentes requerimientos de los clientes y lugares al planificar el reabastecimiento.	X			Se entrevista a los clientes y se analiza si pronostican un aumento o disminución.
8	Se identifican nuevas fuentes a través de los análisis de mercados.	X			Se identifican nuevas fuentes que cumplan con los certificados de mercado y bajos precios.
9	Se tiene determinado el punto óptimo de pedido.		X		No realizan planeación de inventario.
10	Se tiene determinado el lote de pedido pertinente.		X		No realizan planeación de inventario.
11	Se conoce el lead time de reabastecimiento.			X	No se conoce el lead time de los cilindros.
12	Se tienen alertas que evite las rupturas de stock.		X		
13	Se conocen las pérdidas y mermas.			X	Algunas mermas que no se consideran.
14	Se tienen identificadas las distintas limitaciones (proveedores, empresa, otros) y cómo podrían solventarse.			X	Conoce los riesgos/limitaciones, no tiene estipulado acciones puntuales para solventarlas o tratarlas.
15	Se programan los requerimientos.		X		
16	Se mantienen reglas de reabastecimiento (cuando y cantidades a pedir).		X		No se realizan análisis sobre el reabastecimiento de inventario. Se hacen pedidos semanales.
Porcentaje de cumplimiento		31%	44%	25%	

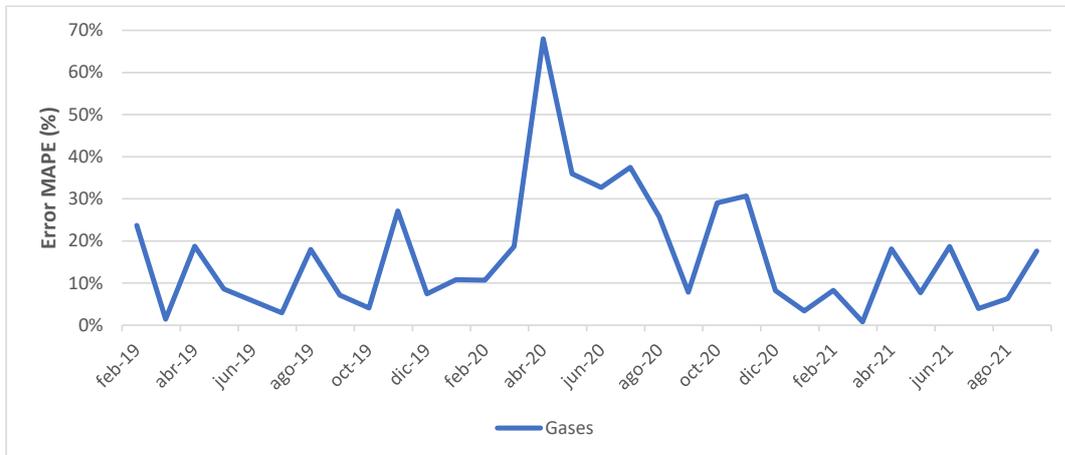
Nota. Tomado de *Gestión de inventarios*, por Cruz, 2017, IC Editorial. / Tomado de *Compras e inventarios*, por Publishing, 2017, Díaz de Santos. / Tomado de *Logística. Administración de la Cadena de Suministro*, por Ballou, 2004, Pearson Education.

Apéndice 3. Comportamiento del error de pronóstico

Mediante el análisis del error MAPE para los pronósticos generados actualmente por la organización, se extrae la información generada y se gráfica con el fin de observar la tendencia de dicha métrica. El error se observa en la Figura 3.1.

Figura 3.1.

Error de pronóstico (MAPE) (2019-2021)



Apéndice 4. Porcentaje de desperdicio mensual por producto

Se ejecuta el análisis del porcentaje de desperdicio de materia prima respecto a la meta establecida por la organización. Los resultados se observan en la Figura 4.1.

Figura 4.1.

Porcentaje de desperdicio de enero a setiembre de 2021

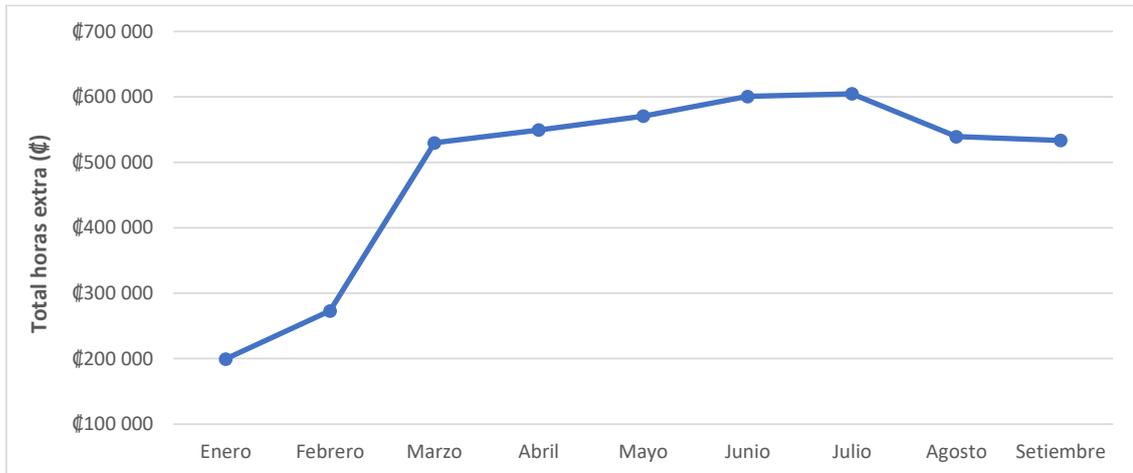


Apéndice 5. Tendencia de horas extra

Se estudia la tendencia en el comportamiento de horas extra en la organización. La Figura 5.1 muestra el crecimiento desde Enero hasta Setiembre 2021.

Figura 5.1.

Comportamiento horas extra INFRA GI de Costa Rica

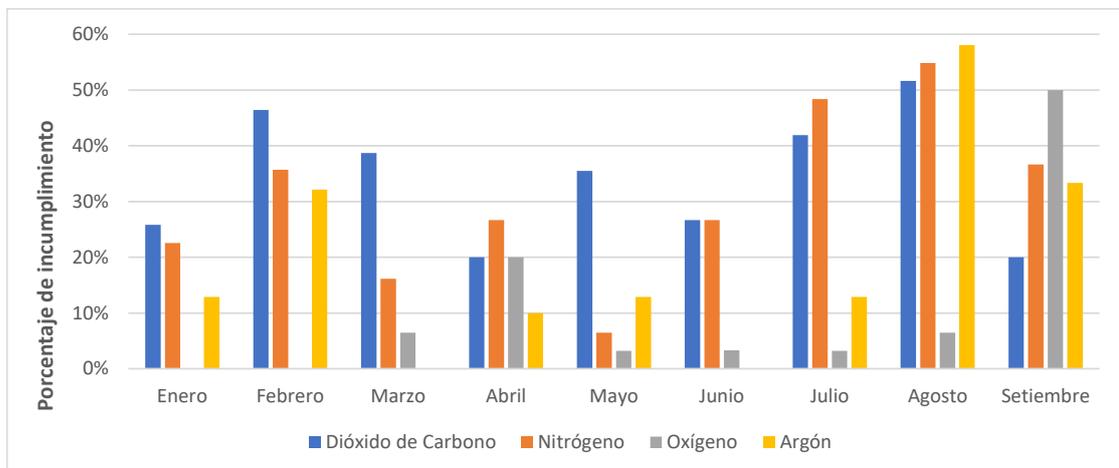


Apéndice 6. Porcentaje de incumplimiento en capacidad de los tanques

Se estudia el incumplimiento en la capacidad de almacenamiento en los tanques de materia prima por mes. La Figura 6.1 muestra el comportamiento desde Enero hasta Setiembre 2021.

Figura 6.1.

Incumplimiento de la capacidad en los tanques



Apéndice 7. Análisis de clasificación ABC

El análisis se realiza basado en dos criterios, en primera instancia por totalidad de ventas y segundo por margen de contribución, en ambos con la totalidad de SKU que posee la cartera de la organización, correspondientes a 588 productos, agrupados en cinco familias: Soldaduras, relativos, servicios, gases y líquidos. Las Figuras presentadas representan solamente los productos A de cada criterio analizado.

Figura 7.1.

Análisis ABC por ventas (Año 2021)

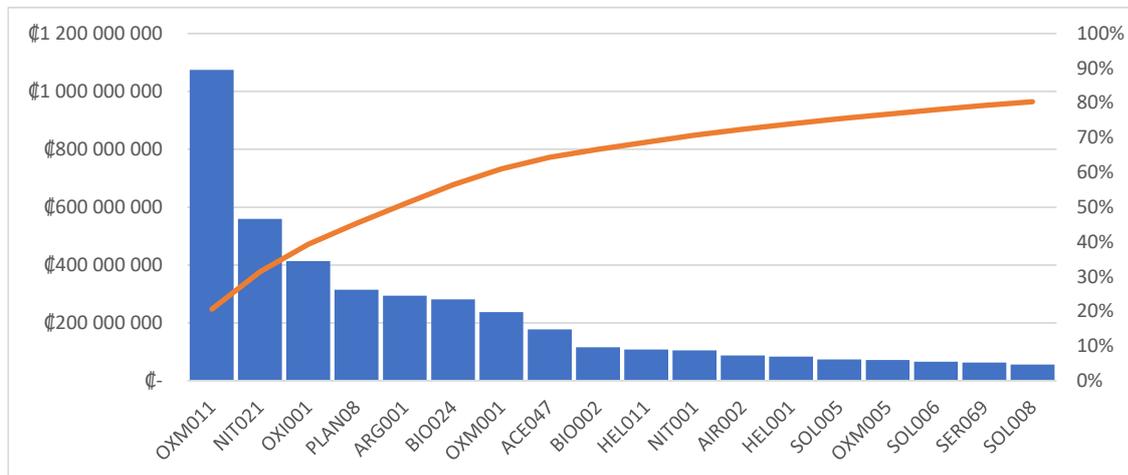
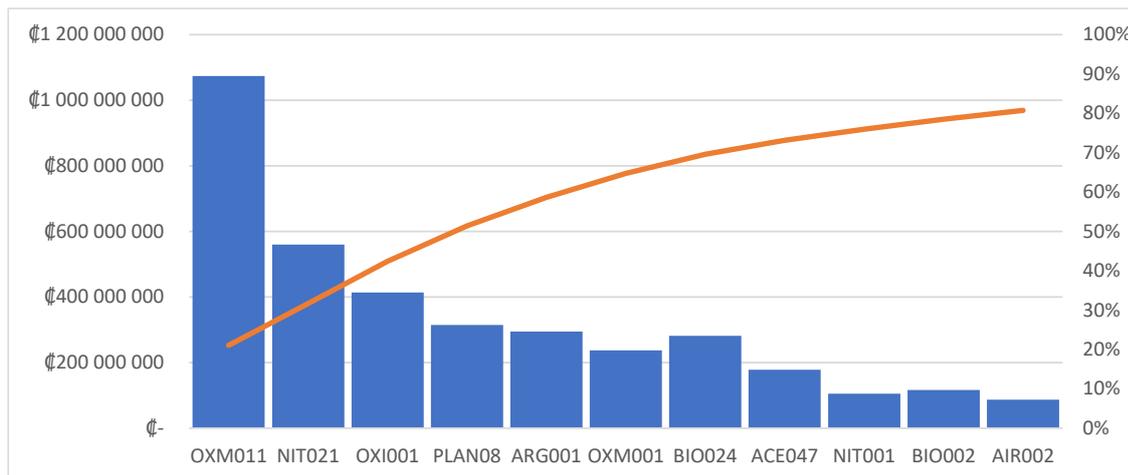


Figura 7.2.

Análisis ABC por margen (Año 2021)



Debido al alcance del proyecto, se seleccionan los SKU que componen la familia de gases, los cuales se encuentran distribuidos en las categorías A, B y C. La Tabla 7.1 presenta el código de producto y la categoría a la cual pertenece.

Tabla 7.1.*Clasificación de SKU por tipo de producto*

Tipo de producto	SKU	Categoría	Tipo de producto	SKU	Categoría
	ARG001	A		NIT001	A
	ARG002	B		NIT002	C
Argón	ARG003	C		NIT003	C
	ARG008	C	Nitrógeno	NIT004	C
	ARG011	C		NIT005	C
	BIO002	A		NIT012	C
	BIO003	B		NIT019	B
	BIO004	C		OXI001	A
	BIO006	C		OXI002	C
	BIO007	C		OXI003	C
	BIO009	B		OXI004	C
	BIO010	C		OXI005	C
	BIO011	C		OXI009	C
Dióxido de carbono	BIO012	C		OXI010	B
	BIO013	C	Oxígeno	OXM001	A
	BIO014	B		OXM002	B
	BIO015	C		OXM003	C
	BIO017	C		OXM004	B
	BIO018	C		OXM005	A
	BIO020	C		OXM006	B
	BIO025	C		OXM007	C
	BIO026	C		OXM008	C
	BIO027	C		OXM009	C

Apéndice 8. Análisis de brechas

Se presentan en esta sección los lineamientos actualizados de los autores reconocidos en la temática.

Tabla 8.1.

Listas de chequeo de buenas prácticas

Listas de chequeo - INFRA GI de Costa Rica				
	Variable/Actividad	Cumple		
		Sí	No	Parcial
Pronósticos de la demanda	Se tiene definido los datos que se desean pronosticar y el propósito de hacerlo.	X		
	Asegurar la confiabilidad de los datos, se cuenta con la cantidad y período necesario para el pronóstico.	X		
	Se determina el horizonte de proyección. Sea a corto, mediano o largo plazo.			X
	Se examina el error de pronóstico y se justifica la diferencia respecto a los valores reales.		X	
	Identificación de posibles fuentes de error y definición de cómo abarcarlas.		X	
	Se tienen indicadores o metas para el error de pronóstico.			X
	Se identifican factores estacionales que puedan determinar el comportamiento de la demanda.		X	
	Se emplea un modelo ajustado que respalde el resultado del pronóstico.		X	
	Se validan y actualizan los datos conforme se obtienen valores reales.			X
	Se integra la investigación de mercado para tener proyecciones sobre el comportamiento y la afectación que pueda tener sobre el pronóstico de la demanda.	X		
	El pronóstico obtenido es validado por criterio experto y se alinea con los objetivos de la organización.	X		
Porcentaje de cumplimiento		36%	37%	27%
Capacidad	Se conoce la duración de cada proceso y cuánto puede producir durante este lapso.		X	
	Se ha definido el tiempo disponible de operación.		X	
	Se utilizan los pronósticos de la demanda y pedidos en firme para determinar los requerimientos de capacidad.		X	
	Se tienen acciones para cuando la demanda excede la capacidad y la capacidad excede la demanda.		X	
	Se tiene definido el nivel óptimo de operación de cada proceso.		X	
	Se integra en el análisis el número de días trabajados anualmente, el tamaño de la fuerza laboral y los requerimientos de mantenimiento de los equipos.			X

Tabla 8.1.

Listas de chequeo de buenas prácticas (continuación)

Listas de chequeo - INFRA GI de Costa Rica				
	Variable/Actividad	Cumple		
		Sí	No	Parcial
Capacidad	Se determina la carga de cada centro de trabajo para cumplir con los requerimientos de capacidad.		X	
	Se determina la capacidad proyectada y la capacidad efectiva.		X	
	Se ha definido el horizonte de planificación.		X	
	Se calcula la utilización y la eficiencia de la capacidad.		X	
	Se ha identificado el cuello de botella de los procesos productivos.		X	
Porcentaje de cumplimiento		0%	91%	9%
Planificación de la producción	Se realiza un plan agregado y un plan maestro de producción derivado.		X	
	Se tiene definido qué, cuánto y cuándo producir.		X	
	Se tienen establecidos los horizontes de planificación (largo, intermedio y corto).		X	
	Toma en consideración la disponibilidad de capacidad, materiales, tiempos y se ajusta el plan de ser necesario.		X	
	Se incluye las cantidades exactas, tiempos de entrega y la demanda para cada producto terminado.		X	
	Se elabora el plan para cada producto, proporcionando la cantidad y fechas de vencimiento de todas las piezas.		X	
	Toma en consideración el inventario disponible.			X
	El plan se actualiza de manera constante y toma en consideración los pronósticos de la demanda.		X	
	Se tiene establecido un método definido para calcular el MPS (perseguidor, nivelador o una combinación).		X	
	Se tiene establecida una unidad de medida.	X		
	Consideran: productos, demanda, periodos, procesos, subcontratación, tiempo extra, costos e inventario.		X	
	Se tienen indicadores de desempeño de planificación, se registran y utilizan los resultados.		X	
	Se analizan de manera crítica los datos que alimentan la planificación.		X	
Se tiene un tiempo de entrega establecido de parte de los proveedores.			X	
Se tiene establecido con los proveedores, mínimo de pedido y fechas establecidas, así como el desempeño.	X			
Porcentaje de cumplimiento		13%	74%	13%

Tabla 8.1.

Listas de chequeo de buenas prácticas (continuación)

Listas de chequeo - INFRA GI de Costa Rica				
	Variable/Actividad	Cumple		
		Sí	No	Parcial
Requerimiento de materiales	Se conoce la demanda de producto terminado.		X	
	Se tiene la planeación de la producción como fuente de información.		X	
	Se conoce el Bill of materials,.		X	
	Se conoce para cada pieza el estado de inventario: El stock (físico) disponible, los recibos programados (pedidos pendientes y trabajo en proceso), reservas y niveles de existencias de seguridad.			X
	Se actualiza el requerimiento con las actualizaciones del MPS.		X	
	Se tiene determinado el punto óptimo de pedido.			X
	Se conoce el lead time, que representa un intervalo fijo de tiempo necesario entre la liberación de un pedido de un número de pieza y la disponibilidad.	X		
	Se conocen las pérdidas y mermas.	X		
Porcentaje de cumplimiento		25%	50%	25%
Programación	Se conoce la capacidad de cada proceso y el respectivo tiempo estándar.		X	
	Se ejecuta la revisión del estatus y control de los pedidos conforme se avanza.		X	
	Se tiene definido si se trabaja con programación progresiva o programación en retroceso.		X	
	Se tiene estipulado el enfoque de programación, ya sea de carga finita o carga infinita.		X	
	Se utilizan criterios de priorización para estipular la secuencia de programación.		X	
	Se utilizan técnicas de programación de acuerdo con la cantidad de trabajos y máquinas disponibles.		X	
	Se registran los trabajos incompletos, desechos y retrabajos.	X		
Porcentaje de cumplimiento		14%	86%	0%
Desemp	Se han identificado mediciones de satisfacción al cliente, tiempo, costo, ambientales, entrega a tiempo.			X
	Se recaba la información sobre el desempeño actual del proceso en cada medición.			X
	Se tiene una planificación ya establecida.		X	

Tabla 8.1.

Listas de chequeo de buenas prácticas (continuación)

Listas de chequeo - INFRA GI de Costa Rica				
	Variable/Actividad	Cumple		
		Sí	No	Parcial
Desempeño	Se han establecido estándares.	X		
	Se mide la productividad, eficiencia y eficacia.		X	
	Se trabaja con valoración del nivel de cumplimiento.		X	
	Se da la aplicación de acciones preventivas, correctivas, y/o de mejora.			X
Porcentaje de cumplimiento		14%	43%	43%
Planificación de inventarios	Toma en cuenta información como: demandas esperadas, cantidades de inventario disponibles y en proceso de pedido de todos los artículos y el momento y tamaño indicados de las cantidades de reorden.		X	
	Se miden las capacidades con respecto a las prioridades competitivas de la empresa.		X	
	Consideran el nivel de servicio al cliente para medir la capacidad de respuesta.	X		
	Calculan los siguientes costos: Por hacer pedido, de preparación, de transporte, pago a proveedores y utilización de mano de obra y equipo, costos de almacenamiento, mantenimiento de inventarios.		X	
	Clasifican los inventarios en: Producto terminado, componentes, suministros, trabajo en progreso y materia prima; así como inventario de ciclo, de seguridad, de previsión y en tránsito.	X		
	Tienen definido un inventario de seguridad.	X		
	Utilizan algún método de manejo de inventarios que considere: Condiciones de demanda, el tiempo de entrega, los costos asociados a la tenencia y el análisis de la metodología del tipo de sistema de producción: push, pull o la combinación de ambos.		X	
	Conocen el punto de reorden, tomando en consideración el lead time y el stock de seguridad.			X
	Utilizan algún método de reabastecimiento de inventarios.		X	
	Identifican los elementos críticos del inventario con un análisis ABC.		X	
	Utilizan algún método para la precisión de los registros de inventarios: Empleado responsable de enviar y recibir materiales, conteo cíclico, sistemas computarizados.	X		
Se tiene definido un tamaño de lote o tanda y un inventario de ciclo.			X	

Tabla 8.1.

Listas de chequeo de buenas prácticas (continuación)

Listas de chequeo - INFRA GI de Costa Rica				
	Variable/Actividad	Cumple		
		Sí	No	Parcial
Planificación de inventarios	Se tiene una unidad de medida establecida.	X		
	Se tienen identificadas las fluctuaciones en la demanda.		X	
	Se conoce la cantidad óptima a pedir, almacenar y manipular que hace mínimos los costes totales.		X	
	Se identifica de manera clara y precisa cada artículo.	X		
	Se tienen instrucciones claras y precisas que permita conocer a cada persona la responsabilidad.	X		
	Se tienen indicadores de gestión de stock.		X	
	Se conoce el lead time de reabastecimiento.	X		
Porcentaje de cumplimiento		42%	47%	11%

Nota. Tomado de *Logística. Administración de la Cadena de Suministro*, por Ballou, 2004, Pearson Education. / Tomado de *Planificación y control de la producción*, por Champan, 2006, Pearson Educación. / Tomado de *Administración de operaciones producción y cadena de suministros*, por Chase, et al., 2009, McGraw Hill. / Tomado de *Administración para la Cadena de Suministro, Estrategia, Planeación y Operación*, por Chopra y Meindl, 2008, Pearson Educación. / Tomado de *Nuevas técnicas de gestión de stocks: MRP y JIT*, por Companys, 2009, Marcombo. / Tomado de *Gestión de inventarios. UF0476*, por Cruz, 2017, IC Editorial. / Tomado de *Planificación de la producción: gestión de materiales*, por Cuatrecasas, 2012, Díaz de Santos. / Tomado de *Supply Chain Strategy*, por Frazelle, 2002, McGraw-Hill. / Tomado de *Administración de Operaciones*, por Gómez y Brito, 2020, Universidad Internacional del Ecuador. / Tomado de *Production and Operations Management Systems*, por Gupta y Starr, 2014, Taylor & Francis Group. / Tomado de *Administración de la producción*, por Heizer y Render, 2007, Pearson Educación. / Tomado de *Dirección de la producción y de operaciones*, por Heizer y Render, 2008, Pearson Educación. / Tomado de *Factory Physics: Foundations of Manufacturing Management*, por Hopp y Spearman, 2008, McGraw Hill. / Tomado de *Administración de operaciones*, por Krajewski, et al., 2008, Pearson Educación. / Tomado de *Ingeniería Industrial: Métodos, estándares y diseño del trabajo*, por Niebel y Freivalds, 2009, McGraw-Hill. / Tomado de *Fundamentos de Gestión de la producción*, por Prado, et al., 2020, Dextra Editorial. / Tomado de *Compras e inventarios*, por Publishing, 2017, Díaz de Santos. / Tomado de *Planeación y Control de la Producción*, por Sipper y Bulfin, 1998, McGraw-Hill. / Tomado de *Operations Management*, por Slack, et al., 2013, Pearson Educación.

Tabla 8.2.

Lista de chequeo estándar de proceso productivo O₂

		Listas de chequeo - INFRA GI de Costa Rica					
Variable/Actividad		Documentado			Ejecutado		
		Sí	No	Parcial	Sí	No	Parcial
Llenado de Oxígeno	Se realiza la inspección previa.	X					X
	Se energizan las bombas.	X			X		
	Se enfrían las bombas.	X			X		
	Se acercan los cilindros inspeccionados al banco.	X			X		
	Se revisan las etiquetas.	X			X		
	Se ajustan las conexiones.	X			X		
	Se verifica que las válvulas estén cerradas antes del llenado.	X			X		
	Se realiza el venteo.	X			X		
	Se realiza el vacío después del venteo.	X			X		
	Se abren las válvulas de llenado después del vacío.	X			X		
	Se realiza la prueba del tacto.	X			X		
	Se realizan dos pruebas de fugas.	X			X		
	Se apartan los cilindros no conformes.	X			X		
	Se realiza el proceso de cambio de línea.		X		X		
	Se cierran las válvulas de los cilindros, se desconectan y se ventea la línea.	X			X		
	Se hace la inspección final.	X			X		
	Se trasladan los cilindros al área de producto conforme.	X			X		
	Se cierran las válvulas del panel.	X			X		
	Se apaga la bomba al terminar el llenado.	X			X		
	Se registran los datos.	X			X		
Se hace el cambio de estado.	X			X			
Porcentaje de cumplimiento		95%	5%	0%	95%	0%	5%

Tabla 8.3.

Lista de chequeo estándar de proceso productivo N₂

Listas de chequeo - INFRA GI de Costa Rica							
	Variable/Actividad	Documentado			Ejecutado		
		Sí	No	Parcial	Sí	No	Parcial
Llenado de Nitrógeno	Se realiza la inspección previa.	X					X
	Se energizan las bombas.	X			X		
	Se enfrían las bombas.	X			X		
	Se acercan los cilindros inspeccionados al banco.	X			X		
	Se revisan las etiquetas.	X			X		
	Se conectan los cilindros a los pigtails.	X			X		
	Se realiza el venteo.	X			X		
	Se realiza el vacío después del venteo.	X			X		
	Se abren las válvulas de alta presión de llenado.	X			X		
	Se realiza la prueba de tacto.	X			X		
	Se realizan dos pruebas de detecciones de fugas.	X			X		
	Se apartan los cilindros no conformes y se documentan.	X			X		
	Se apaga la bomba cuando se llega a la presión indica.	X			X		
	Se cierran las válvulas de los cilindros.	X			X		
	Se ventea la línea.	X			X		
	Se desconectan los pigtails.	X			X		
	Se retiran los cilindros llenos de la línea.	X			X		
	Se cierran las válvulas del panel.	X			X		
	Se realiza la inspección final.	X			X		
	Se trasladan los cilindros al área de producto conforme.	X			X		
Se registran los datos.	X			X			
Se hace el cambio de estado de vacío a lleno.	X			X			
Porcentaje de cumplimiento		100%	0%	0%	95%	0%	5%

Tabla 8.4.

Lista de chequeo estándar de proceso productivo Ar

Listas de chequeo - INFRA GI de Costa Rica							
Variable/Actividad	Documentado			Ejecutado			
	Sí	No	Parcial	Sí	No	Parcial	
Llenado de Argón	Se realiza la inspección previa.	X				X	
	Se energizan las bombas.	X		X			
	Se enfrían las bombas.	X		X			
	Se acercan los cilindros inspeccionados al banco.	X		X			
	Se revisan las etiquetas.	X		X			
	Se ajustan las conexiones.	X		X			
	Se verifica que las válvulas del panel estén cerradas antes del llenado.	X		X			
	Se realiza el venteo.	X		X			
	Se realiza el vacío después del venteo.	X		X			
	Se abren las válvulas de llenado después del vacío.	X		X			
	Se realiza la prueba del tacto.	X		X			
	Se realizan dos pruebas de fugas.	X		X			
	Se apartan los cilindros no conformes.	X		X			
	Se cierran las válvulas de los cilindros, se desconectan y se ventea la línea.	X		X			
	Se hace la inspección final.	X		X			
	Se trasladan los cilindros al área de producto conforme.	X		X			
	Se cierran las válvulas del panel.	X		X			
	Se apaga la bomba al terminar el llenado.	X		X			
	Se registran los datos.	X		X			
	Se hace el cambio de estado.	X		X			
Porcentaje de cumplimiento	100%	0%	0%	95%	0%	5%	

Tabla 8.5.

Lista de chequeo estándar de proceso productivo CO₂

Listas de chequeo - INFRA GI de Costa Rica							
	Variable/Actividad	Documentado			Ejecutado		
		Sí	No	Parcial	Sí	No	Parcial
Llenado de Dióxido de Carbono	Se realiza la inspección previa.	X					X
	Se retiran los tapones de los pigtails.		X			X	
	Se coloca un cilindro en la báscula y se tara.	X			X		
	Se enfría la bomba.	X			X		
	Asegurar el pigtail a la válvula del cilindro.	X			X		
	Se abre la válvula y se realiza el llenado de producto.	X			X		
	En el peso indicado, se cierra la válvula de un lado y se abre la del otro.	X			X		
	Retirar cilindro lleno y colocar uno vacío.	X			X		
	Coloque tapones a los pigtails al terminar todas las unidades.		X			X	
	Se realiza una prueba de detecciones de fugas.		X		X		
	Se apartan los cilindros no conformes y se documentan.	X			X		
	Se registran los datos.	X			X		
	Se colocan las etiquetas.	X			X		
	Se realiza la inspección final.	X			X		
	Se trasladan los cilindros al área de producto conforme.	X			X		
Porcentaje de cumplimiento		80%	20%	0%	80%	13%	7%

Apéndice 9. Error de pronóstico

El análisis inicia con el estudio del comportamiento de la demanda, se presentan gráficos de series de tiempo para la visualización de lo expuesto en la subsección 2.7.1.

Figura 9.1.

Demanda de Ar gaseoso 2019 - 2021



Figura 9.2.

Demanda de CO₂ gaseoso 2019 - 2021

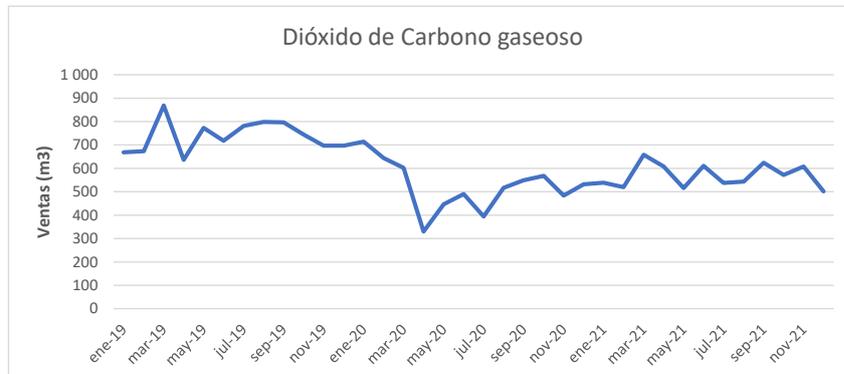


Figura 9.3.

Demanda de N₂ gaseoso 2019 - 2021

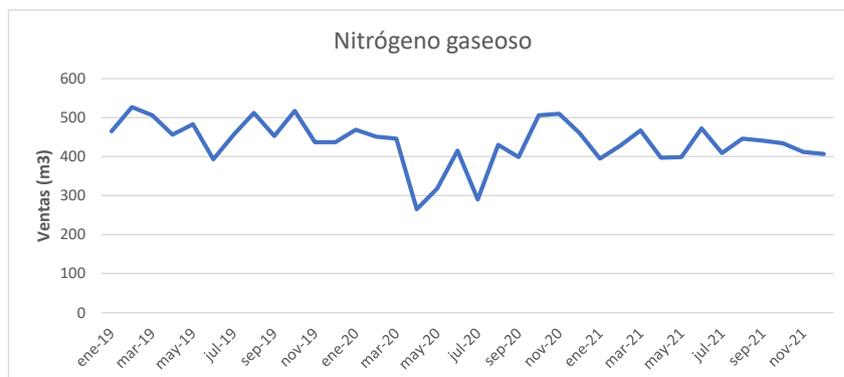


Figura 9.4.

Demanda de O₂ gaseoso 2019 - 2021



Para el error de pronóstico, el análisis se inicia con la identificación de valores atípicos en las ventas, este se realiza en el software Minitab 19 y los resultados obtenidos indican que no hay presencia de datos extraños. Para el cálculo de MAPE, se utiliza la Ecuación 9.1.

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|R-F|}{R} * 100 \quad (23)$$

Donde:

- R = Real
- F = Pronosticado

Seguido, se calcula la señal de rastreo, mediante la Ecuación 9.2.

$$\text{Señal de rastreo} = \frac{\sum_{i=1}^n F-R}{\sum_{i=1}^n |F-R|} \quad (24)$$

Una vez determinada la señal de rastreo, se procede a determinar la magnitud del error de pronóstico, para ello se calcula la representación del error MAPE sobre las ventas totales por producto de los últimos tres años, las cuales se muestran en la Tabla 9.1.

Tabla 9.1.

Ventas totales por producto

Tipo de producto	Ventas totales		
	2019 (€)	2020 (€)	2021 (€)
Argón	333 567 698	259 159 060	302 239 864
Dióxido de carbono	234 353 644	168 076 834	188 659 903
Nitrógeno	129 219 930	118 942 679	126 315 703
Oxígeno	674 204 770	835 062 746	827 151 239

La representación se calcula mediante el producto del MAPE por la venta respectiva con el fin de traducir el error a unidades monetarias, tal como se muestra en el ejemplo para el Ar.

$$MAPE * \text{venta real} = 16,0\% * €333 567 698 = €51 902 639$$

Seguido, se suman las representaciones por año de todos los productos bajo estudio y se dividen entre las ventas totales anuales de la empresa, con el fin de determinar el porcentaje que representa el error MAPE en dichas ventas.

$$\text{MAPE sobre las ventas totales 2019} = \frac{\$310\,019\,357}{\$3\,156\,844\,315} = 9,8\%$$

Finalmente, se pronostica el año 2021 y se calcula el error siguiendo el mismo procedimiento explicado anteriormente.

Apéndice 10. Impacto en la capacidad real instalada

Para obtener la tasa de producción en m³/h, primero se obtiene la cantidad de cilindros que la empresa puede producir por hora según los tiempos de ciclo que actualmente la empresa tiene establecidos y los obtenidos a partir del estudio de tiempos guía realizado.

Tabla 10.1.

Capacidad máxima por jornada diaria

Producto	Cantidad de cilindros por banco	Tiempo de llenado por banco (min)		Cantidad cilindros por hora	
		Actual	Real	Actual	Real
Argón	25	40	36,7	38	41
Dióxido de carbono (con sifón)	1	-	2,2	-	27
Dióxido de carbono (sin sifón)	1	-	2,2	-	27
Nitrógeno	28	30	34,6	56	49
Oxígeno	24	30	30,8	48	47

La cantidad de cilindros por hora se obtiene como se muestra en el siguiente ejemplo para el actual de Ar:

$$\text{Cantidad de cilindros por hora} = \frac{60 \text{ min}}{40 \text{ min}} * 25 \text{ cilindros} = 38 \text{ cilindros por hora}$$

Seguido, se realiza la conversión de unidades de cilindros por hora a m³/h, las equivalencias utilizadas se muestran en la Tabla 10.2 y se utiliza el supuesto de que todos los cilindros corresponden a 220 pies cúbicos (PC) y los de CO₂ son de 23 kg.

Tabla 10.2.

Conversión de cilindros por hora a m³/h.

Producto	Capacidad por cilindro	m ³ por cilindro	m ³ /h	
			Actual	Real
Argón	220 PC	6,231	233,6	255,0
Dióxido de carbono (con sifón)	23 kg	12,552	-	342,8
Dióxido de carbono (sin sifón)	23 kg	12,552	-	342,8
Nitrógeno	220 PC	6,231	348,9	302,2
Oxígeno	220 PC	6,231	299,1	291,4

Los resultados obtenidos para el Ar real se obtienen de la siguiente manera:

$$PC \text{ a m}^3 = (\text{Cilindros por hora} * 220 \text{ PC}) * \frac{6,2 \text{ m}^3}{220 \text{ PC}}$$

(25)

$$PC \text{ a m}^3 = (41 \text{ cilindros por hora} * 220 \text{ PC}) * \frac{6,2 \text{ m}^3}{220 \text{ PC}} = 255,0 \text{ m}^3/\text{h}$$

Apéndice 11. Análisis del volumen de producción actual

Para la elaboración de los cálculos primero se inicia con la generación de los pronósticos, se trabaja con una curva de demanda agregada; es decir, se ajustan los valores para obtener un total de la familia gases y se utiliza el software Forecast Pro TRAC. Una vez obtenidos los valores se procede a ajustarlos para obtener un pronóstico colaborativo, donde los datos fueron ajustados a criterio experto según el comportamiento histórico.

Seguido, se procede a la elaboración del MPS en unidades de m³, este consta de seis líneas: Inventario inicial, plan de producción, disponible, inventario de seguridad, demanda e inventario final. Cabe destacar que, los valores calculados varían cada cuatro semanas por la naturaleza estacional de la demanda. El detalle de los cálculos se muestra a continuación y los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 11.1.

- **Inventario inicial**

Se cuentan con dos cálculos para el inventario inicial, para el primer periodo se obtuvo a partir del 65% de la capacidad total de la bodega y para los siguientes periodos corresponde al inventario final del periodo anterior.

- **Plan de producción**

$$\text{Plan de producción} = \frac{\sum_1^n \text{Demanda} - \text{Inventario inicial} + \text{Inventario de seguridad}}{n}$$

(26)

$$\text{Plan de producción} = \frac{(6618 + 6756 + 7012 + 7310) - 2163 + 2495}{4} = 7007 \text{ m}^3$$

- **Disponible**

$$\text{Disponible} = \text{Inventario inicial} + \text{Plan de producción}$$

(27)

$$\text{Disponible} = 2163 + 7007 = 9170 \text{ m}^3$$

- **Inventario de seguridad**

$$\begin{aligned} \text{Inventario de seguridad} \\ = \text{Porcentaje IS} * \text{Espacio bodega} \end{aligned}$$

(28)

$$\text{Inventario de seguridad} = 75\% * 3327 = 2495 \text{ m}^3$$

- **Demanda**

Corresponde a los pronósticos estimados.

- **Inventario final**

$$\text{Inventario final} = \text{Disponible} - \text{Demanda}$$

(29)

$$\text{Inventario final} = 9170 - 6618 = 2552 \text{ m}^3$$

Adicionalmente, para la estimación de la distribución de tiempo dedicada por producto actualmente y la requerida, se determina el tiempo disponible tal como se muestra a continuación:

$$\text{Tiempo disponible} = (\text{Jornada diaria} - \text{Descansos}) - \% \text{Suplementos}$$

(30)

$$\text{Tiempo disponible} = (570 \text{ min} - 90 \text{ min}) - (9,0\% * 480 \text{ min})$$

$$\text{Tiempo disponible} = 436,8 \text{ min}$$

Para obtener el tiempo disponible por semana se consideran 5,5 turnos. El valor obtenido se divide en tiempo efectivo y de alisto, para este último se calcula el promedio semanalmente dedicado para cubrir los alistos según la cantidad de bancos que se envasan y el tiempo efectivo, se obtiene de la diferencia de la jornada disponible y el tiempo dedicado a alisto, tal como se muestra a continuación:

$$\text{Tiempo efectivo} = \text{Tiempo disponible} - \text{Tiempo de alisto}$$

(31)

$$\text{Tiempo efectivo} = (436,8 \text{ min} * 5,5 \text{ turnos}) - 928,2 \text{ min}$$

$$\text{Tiempo efectivo} = 1474,2 \text{ min} = 24,57 \text{ h}$$

A partir del tiempo efectivo determinado, se procede a multiplicar la distribución promedio de tiempo dedicado por gas por el tiempo efectivo para obtener la especificación por producto.

Tabla 11.1.MPS semanal agregado en m³

Periodo	II	Plan	Disponible	IS	Demanda	Inventario final	IS
1	2 163	7 007	9 170	2 495	6 618	2 552	
2	2 552	7 007	9 559	2 495	6 756	2 803	
3	2 803	7 007	9 810	2 495	7 012	2 798	75,0%
4	2 798	7 007	9 805	2 495	7 310	2 495	
5	2 495	6 743	9 238	1 664	6 647	2 591	
6	2 591	6 743	9 334	1 664	7 398	1 936	
7	1 936	6 743	8 679	1 664	6 997	1 682	50,0%
8	1 682	6 743	8 426	1 664	6 762	1 664	
9	1 664	6 925	8 589	1 164	7 392	1 197	
10	1 197	6 925	8 122	1 164	6 681	1 441	
11	1 441	6 925	8 366	1 164	7 198	1 168	35,0%
12	1 168	6 925	8 093	1 164	6 929	1 164	
13	1 164	6 302	7 466	665	6 694	772	
14	772	6 302	7 074	665	5 645	1 429	
15	1 429	6 302	7 731	665	6 680	1 051	20,0%
16	1 051	6 302	7 352	665	6 687	665	
17	665	6 703	7 368	665	6 690	678	
18	678	6 703	7 381	665	6 705	676	
19	676	6 703	7 379	665	6 704	675	20,0%
20	675	6 703	7 377	665	6 712	665	
21	665	7 581	8 246	1 497	6 740	1 506	
22	1 506	7 581	9 087	1 497	6 745	2 342	
23	2 342	7 581	9 922	1 497	7 658	2 264	45,0%
24	2 264	7 581	9 845	1 497	8 348	1 497	
25	1 497	7 102	8 600	333	7 064	1 536	
26	1 536	7 102	8 638	333	8 228	410	
27	410	7 102	7 512	333	7 392	120	10,0%
28	120	7 102	7 223	333	6 890	333	

Para el análisis de capacidad se toman los datos de ventas semanales en m³ desde enero 2019 hasta diciembre 2021 y se obtiene la proporción promedio del total por producto, este dato se considera como la distribución de tiempo que utiliza la empresa. A partir de las proporciones, se procede a obtener un promedio por semana para conocer el comportamiento durante el año, ver columna de "Proporción promedio". En la Tabla 11.2, se muestran los resultados obtenidos para la semana 1.

Tabla 11.2.

Proporción de tiempo semanal por producto

Producto	Venta (m ³)	Proporción mensual	Proporción promedio
Argón	819	13,6%	13,3%
Dióxido de carbono (con sifón)	301	4,2%	4,9%
Dióxido de carbono (sin sifón)	1018	19,8%	18,8%
Nitrógeno	440	8,4%	8,5%
Oxígeno	2274	53,9%	54,6%

Seguido, se distribuye el plan de producción obtenido con las proporciones promedio calculadas para obtener el requerimiento por tipo de producto. A continuación, se presenta un ejemplo de los cálculos para semana 1, los cuales se replican para todas las semanas y en la Tabla 11.3, se muestran los resultados obtenidos para la semana 1.

- **Requerimiento por producto semana 1 (Ar)**

$$\text{Requerimiento} = \text{Plan de producción} * \text{Proporción promedio} \quad (32)$$

$$\text{Requerimiento} = 7007 * 13,30\% = 9,3 \text{ m}^3$$

Tabla 11.3.

Requerimiento por producto semana 1

Producto	Requerimiento (m ³)	Proporción promedio
Argón	932	13,3%
Dióxido de carbono (con sifón)	343	4,9%
Dióxido de carbono (sin sifón)	1 316	18,8%
Nitrógeno	592	8,4%
Oxígeno	3 824	54,6%
Plan de producción	7007	100,0%

Seguido, se obtiene la tasa de producción requerida para cubrir cada uno de los requerimientos calculados, el cálculo se replica para todos los productos en las restantes semanas y en la Tabla 11.4, se muestran los resultados obtenidos para la semana 1.

- **Tasa de producción actual por producto semana 1 (Ar)**

$$\text{Tasa de producción} = \frac{\text{Requerimiento}}{\text{Horas de llenado}} \quad (33)$$

$$\text{Tasa de producción} = \frac{932 \text{ m}^3}{3,2 \text{ h}} = 294,9 \text{ m}^3/\text{h}$$

Tabla 11.4.

Tasa de producción actual semana 1

Producto	Requerimiento (m ³)	Tasa de producción actual (m ³ /h)
Argón	932	294,9
Dióxido de carbono (con sifón)	343	215,9
Dióxido de carbono (sin sifón)	1 316	326,9
Nitrógeno	592	306,1
Oxígeno	3 824	275,9
Plan de producción	7007	

Una vez obtenido el ritmo de producción requerido para cubrir el requerimiento de acuerdo con la planificación actual de la empresa, se compara contra la tasa de producción real, con el fin de obtener la utilización de la capacidad por producto cada semana.

Finalmente, se obtiene la distribución adecuada de horas que se debe utilizar de acuerdo con la capacidad actual en las líneas de producción, en la Tabla 11.5, se muestran los resultados obtenidos para la semana 1.

- **Distribución requerida de horas para semana 1 (Ar)**

$$\text{Horas requeridas} = \frac{\text{Requerimiento}}{\text{Tasa de producción real}} \quad (34)$$

$$\text{Horas requeridas} = \frac{932 \text{ m}^3}{255,1 \text{ m}^3/\text{h}} = 3,7 \text{ h}$$

Tabla 11.5.

Distribución de horas requeridas semana 1

Producto	Requerimiento (m ³)	Tasa de producción real (m ³ /h)	Requerimiento (h)
Argón	932	255,0	3,7
Dióxido de carbono (con sifón)	343	342,8	1,0
Dióxido de carbono (sin sifón)	1 316	342,8	3,8
Nitrógeno	592	302,2	2,0
Oxígeno	3 824	291,4	13,1
Plan de producción	7007		23,6

Apéndice 12. Indicadores recomendados

Los indicadores por medir son: Productividad, utilización de la capacidad, eficiencia y horas extra. A continuación, se presenta una ejemplificación del cálculo realizado para cada uno.

- **Productividad**

$$\text{Productividad} = \frac{\text{Requerimiento}}{\text{Horas persona empleadas}} \quad (35)$$

Para estimar la productividad, primero se debe calcular las horas persona empleadas. Esta se obtiene al sumar las horas trabajadas por quincena con las horas extra. Se presentan los cálculos para la quincena 1 del año 2021.

Horas persona total

$$= \text{Cantidad de operarios} * \text{Horas laboradas por quincena} + \text{Horas extra}$$

$$\text{Horas persona total} = 4 * 88 \text{ h} + 43,1 \text{ h} = 395,1 \text{ h}$$

Al calcular las horas persona totales por quincena, se procede a fraccionar este tiempo, ya que incluye el llenado de mezclas y de aire médico, los cuales son productos que no forman parte de los gases bajo estudio. Para esto, se procede a dividir el requerimiento en metros cúbicos de Ar, N₂, CO₂ y O₂ entre el requerimiento total, luego, se multiplica este porcentaje por las horas persona totales, lo que dará las horas persona empleadas en estos gases. Se presentan los cálculos para la quincena 1 del año 2021.

$$\text{Horas persona empleadas} = \frac{\text{Requerimiento de Ar, N}_2, \text{CO}_2 \text{ y O}_2}{\text{Requerimiento total}} * \text{Horas persona total} \quad (36)$$

$$\text{Horas persona empleadas} = \frac{14250 \text{ m}^3}{15365 \text{ m}^3} * 395,1 \text{ h} = 366,4 \text{ h}$$

Al tener las horas persona empleadas se procede a calcular la productividad, esta se estima al dividir requerimiento de los gases bajo estudio entre las horas persona empleadas.

$$\text{Productividad} = \frac{14250 \text{ m}^3}{366,4 \text{ h}} = 38,9 \text{ m}^3/\text{h}$$

- **Utilización de la capacidad**

$$\text{Utilización de la capacidad} = \frac{\text{Horas requeridas}}{\text{Horas disponibles}} * 100 \% \quad (37)$$

Para calcular la utilización, se parte definiendo las horas disponibles. Al tener una jornada de 44 horas semanales, restar el 9% de holguras y las 15,47 horas de alisto, el tiempo disponible para efectuar el llenado se reduce a 24,57 horas disponibles.

Luego, se procede a calcular las horas requeridas para cada gas, esto se realiza dividiendo el requerimiento en metros cúbicos entre la tasa estándar calculada con base en los tiempos guía. Se presenta el cálculo para la primera semana del año 2021 del Argón.

$$\text{Horas requeridas} = \frac{\text{Requerimiento}}{\text{Tasa estándar}} \quad (38)$$

$$\text{Horas requeridas} = \frac{932 \text{ m}^3}{255,05 \text{ m}^3/\text{h}} = 3,7 \text{ h}$$

Al tener el tiempo requerido por cada gas, se procede a sumarlos para calcular las horas requeridas a la semana. Por último, para estimar la utilización se dividen las horas requeridas semanales, entre las horas disponibles. Se presentan los cálculos para la primera semana de enero de 2021.

$$\text{Utilización de la capacidad} = \frac{23,58 \text{ h}}{24,57 \text{ h}} * 100 \% = 96,0\%$$

- **Eficiencia**

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Tasa actual}}{\text{Tasa necesaria}} * 100\% \quad (39)$$

Para este indicador se calcula la tasa necesaria dividiendo el requerimiento en m³ entre las horas asignadas para el llenado de cada gas. Este valor permite conocer a la tasa de producción requerida para cumplir con las cantidades específicas de producto en el tiempo asignado. Se muestra el cálculo para la semana 1 de enero de 2021.

$$\text{Tasa necesaria} = \frac{\text{Requerimiento}}{\text{Tiempo asignado}} \quad (40)$$

$$\text{Tasa necesaria} = \frac{6073 \text{ m}^3}{24,57 \text{ h}} = 247,2 \text{ m}^3/\text{h}$$

Luego, para calcular la tasa actual se estiman las horas reales requeridas para el llenado de cada gas, se suman y se divide el requerimiento entre las horas necesarias. Esto puede observarse a continuación para la semana 1 de 2021.

$$\text{Tasa actual} = \frac{\text{Requerimiento}}{\text{Horas requeridas}} \quad (40)$$

$$\text{Tasa actual} = \frac{6073 \text{ m}^3}{29,58 \text{ h}} = 205,3 \text{ m}^3/\text{h}$$

Al estimar ambas tasas se calcula la eficiencia obtenida, para esto se divide la tasa actual entre la necesaria. Se muestran los cálculos para la primera semana del 2021.

$$\text{Eficiencia} = \frac{205,30 \text{ m}^3/\text{h}}{247,20 \text{ m}^3/\text{h}} * 100\% = 83,1\%$$

- **Horas extra**

Para este indicador se calcula el porcentaje que representan las horas extra del total de horas laboradas. A continuación, se muestra el cálculo para el mes de febrero de 2022.

$$\text{Porcentaje de horas extra} = \frac{\text{Horas extra}}{\text{Horas laboradas}} * 100\% \quad (41)$$

$$\text{Porcentaje de horas extra} = \frac{137,95 \text{ h}}{665,95 \text{ h}} * 100\% = 20,7\%$$

Apéndice 13. Fichas técnicas de los procesos del sistema de planificación

A continuación, se presentan las fichas técnicas realizadas para cada uno de los procesos que conforman el sistema de planificación, desarrollados en la subsección 2.4 del diseño.

- **Ficha del proceso de estimación de la demanda**

	PROCEDIMIENTO DE ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA	Código: -
Revisión: -	-	Página 1 de 4

1. Objetivo

Estimar la demanda para los productos de Ar, CO₂, O₂ y N₂, con el fin de cuantificar la cantidad a producir de dichos gases y orientar a los procesos de producción, capacidad y programación.

2. Alcance

Este procedimiento se aplica al sistema integrado de planificación y control de INFRA G.I. de Costa Rica S.A.

3. Roles

El equipo interfuncional está conformado por el jefe de planta, encargado de compras, encargado de ventas y jefe de distribución, lo cuales estarán a cargo de la ejecución de los pronósticos de manera colaborativa.

4. Definiciones

4.1. Modelo Winters: Este realiza una suavización de los datos añadiendo multiplicadores estacionales al modelo de suavización exponencial con tendencia lineal, posibilitando analizar la demanda que cuenta tanto con un componente estacional como de tendencia.

4.2. Error Porcentual Absoluto Medio (MAPE): Se define como el error porcentual absoluto medio y relaciona el error con el nivel de la demanda

5. Procedimiento

Para llevar a cabo la ejecución de este proceso, se debe hacer uso del módulo uno de la herramienta de soporte.

5.1. Extracción de los datos de demanda

5.1.1. Los datos por utilizar deben ser basados en la demanda real y no en un registro de ventas, por lo que se deben de incluir los pedidos que no fueron cubiertos, es decir, ventas perdidas. Se deben tomar los datos generados en los reportes de ventas, pedidos y de distribución, y recopilarlos de tal manera que sea posible el análisis, los datos se deben utilizar en unidades de m³ y por tipo de producto de manera semanal.

	PROCEDIMIENTO DE ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA	Código: -
Revisión: -	-	Página 2 de 4

5.2. Análisis y agregación de los datos de demanda

5.2.1. Eliminar datos atípicos, para ello se hace uso de gráficos de cajas que permitan identificar extremos de demanda debido a eventos fuera de lo común. Por otro lado, para corregir estos valores, se utiliza el método de interpolación, en este caso, se debe

corregir el valor atípico a partir de dato anterior y posterior a este, haciendo uso de la Ecuación 1.

$$y = \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0} (x - x_0) + y_0 \quad (1)$$

Donde:

- y = Valor corregido.
- y_1 = venta semana anterior.
- y_0 = Venta semana posterior.
- x = Semana a corregir, constante con valor 2.
- x_0 = Semana anterior, constante con valor 1.
- x_1 = Semana posterior, constante con valor 3.

5.2.2. Analizar los factores externos como la economía, competencia y eventos que pudiesen afectar la demanda y factores internos como proyectos o cambios en el precio final y realizar ajustes correspondientes.

5.2.3. Agregar la curva de datos; para ello, se deben sumar los datos de demanda de cada gas para obtener la totalidad en m^3 .

5.3. Ejecución del modelo de pronóstico

5.3.1. Utilizar el método Winters para el pronóstico de la demanda. La ejecución de los cálculos se detalla a continuación, cabe destacar que, el encargado no debe realizar los cálculos debido a que la herramienta de soporte se encuentra programada para la ejecución de estos:

5.3.1.1. Se debe obtener el componente de estacionalidad, de las primeras 52 semanas con el uso de la Ecuación 2.

$$S_1 = \frac{Y_1}{\text{Promedio}(Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_{52})}, S_2 = \frac{Y_2}{\text{Promedio}(Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_{52})} \quad (2)$$

Y así sucesivamente, hasta llegar a S_{52} correspondientes a las 52 semanas del primer año de historia.

5.3.1.2. Seguido, se debe obtener el componente de nivel y tendencia, del periodo 53, a partir de las Ecuaciones 3 y 4.

$$L_{53} = \frac{Y_{53}}{S_1} \quad (3)$$

	PROCEDIMIENTO DE ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA	Código: -
Revisión: -	-	Página 3 de 4

$$T_{53} = \frac{Y_{53}}{S_1} - \frac{Y_{52}}{S_{52}} \quad (4)$$

5.3.1.3. Obtenidos los valores iniciales de nivel, tendencia y estacionalidad, se procede obtener los valores de las siguientes semanas. Se deben calcular los componentes haciendo uso de las Ecuaciones 5, 6 y 7 respectivamente.

$$L_t = \alpha * \frac{Y_t}{S_{t-M}} + (1-\alpha) * (L_{t-1} + T_{t-1}) \quad (5)$$

$$T_t = \beta * (L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta) * T_{t-1} \quad (6)$$

$$S_t = \gamma * \frac{Y_t}{L_t} + (1 - \gamma) * S_{t-M} \quad (7)$$

5.3.1.4. Para obtener el pronóstico de los meses con demanda se utiliza la Ecuación 8.

$$F_{t+1} = (L_t - T_t) * S_{t-M+1} \quad (8)$$

5.3.1.5. Seguido, se calcula el error con la Ecuación 9.

$$E_t = Y_t - F_t \quad (9)$$

5.3.1.6. Finalmente, para obtener el pronóstico se utiliza la Ecuación 10.

$$F_{t+k} = (L_t + k * T_t) * S_{t-M+k} \quad (10)$$

Donde:

- S_t = Factor estacional.
- Y_t = Demanda.
- L_t = Factor nivel.
- T_t = Factor tendencia.
- α, β, γ = Constantes de suavizado entre 0 y 1.
- t = Período.
- M = número de periodos por año.
- E_t = Error.
- F_{t+1} = Pronóstico de periodos con demanda.
- F_{t+k} = Pronóstico futuro.
- k = Número de periodos de tiempo a pronosticar (1,2,3, ...n).

5.3.2. Ejecución del pronóstico colaborativo, el cual consiste en validar e implantar los resultados; para ello, el equipo interfuncional debe revisar los resultados para asegurar la validez del modelo, las suposiciones, los datos y realizar ajustes de ser necesario.

	PROCEDIMIENTO DE ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA	Código: -
Revisión: -	-	Página 4 de 4

5.3.3. Ejecución del ajuste móvil de los pronósticos cada cuatro semanas a partir del comportamiento del periodo anterior. Para ello, se deben agregar los datos de venta y demanda e ir a la herramienta a ejecutar el pronóstico móvil.

5.4. Medición del error de pronóstico

5.4.1. Cálculo de la métrica MAPE, mediante la diferencia del valor real y el pronosticado, haciendo uso de la Ecuación 11.

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|R-F|}{R} * 100 \quad (11)$$

Donde:

- R = Real
- F = Pronosticado

5.4.2. Análisis de cumplimiento con respecto a la meta del $\pm 5\%$ sobre las ventas totales. El equipo interfuncional debe analizar mensualmente el error obtenido y tomar decisiones de ser necesario, además, se debe analizar el impacto sobre las ventas totales al finalizar el año.

5.4.3. La representación se calcula mediante el producto del MAPE por la venta respectiva por tipo de producto con el fin de traducir el error a unidades monetarias, tal como se muestra en el ejemplo.

$$MAPE * \text{venta real} = 16\% * \text{C}333\ 567\ 698 = \text{C}51\ 902\ 639$$

5.4.4. Seguido, se suman las representaciones por año de todos los productos bajo estudio y se dividen entre las ventas totales anuales de la empresa, con el fin de determinar el porcentaje que representa el error MAPE en dichas ventas. Dicho valor, es el comparativo con la meta.

$$MAPE \text{ sobre las ventas totales } 2019 = \frac{\text{C}310\ 019\ 357}{\text{C}3\ 156\ 844\ 315} = 9,8\%$$

- **Ficha del proceso de planificación de la producción**

	PROCEDIMIENTO DE PLANIFICACIÓN DE LA PRODUCCIÓN	Código: -
	Revisión: 01	Fecha de Aprobación: -

1. Objetivo

Establecer los lineamientos para la ejecución de la planificación de la producción.

2. Alcance

Este procedimiento se aplica al sistema integrado de planificación y control de INFRA G.I. de Costa Rica S.A.

3. Roles

La ejecución del proceso se encuentra bajo la responsabilidad del jefe de planta.

4. Definiciones

4.1. Planificación agregada: Esta corresponde a un proceso para determinar los niveles de capacidad, producción e inventario a nivel de decisiones agregadas; es decir, la función es establecer la cantidad de producto por familias y el momento de producción en un horizonte determinado, generalmente entre los siguientes 3 a 18 meses.

4.1. Plan maestro de producción: Programa de fabricación el cual indica qué, cuánto y cuándo se va a producir

5. Procedimiento

Se debe hacer uso del módulo dos de la herramienta de soporte.

5.1. Elaboración del plan agregado de producción

5.1.1. Rellenar la variable demanda cada cuatro semanas utilizando los resultados de los pronósticos elaborados.

5.1.2. Definir el inventario inicial del primer periodo, se deben contar los envases disponibles en el cepo y obtener los metros cúbicos, dicho valor se coloca en el inventario inicial del primer periodo. Para los restantes periodos se debe igualar al inventario final del periodo anterior.

5.1.3. Definir el plan de producción mediante la Ecuación 1. Esta variable se obtiene con la suma de la demanda de cuatro periodos, menos el inventario inicial, más el inventario de seguridad. El resultado obtenido, se distribuye entre los cuatro periodos nivelados y así se obtiene el plan de producción para cada semana, cabe destacar que la cantidad debe ser equivalente en cada periodo.

$$\text{Plan de producción} = \frac{\sum_1^n \text{Demanda} - \text{Inventario inicial} + \text{Inventario de seguridad}}{n} \quad (1)$$

5.1.4. Definir el inventario disponible mediante la Ecuación 2.

$$\text{Disponible} = \text{Inventario inicial} + \text{Plan de producción} \quad (2)$$

	PROCEDIMIENTO DE PLANIFICACIÓN DE LA PRODUCCIÓN	Código: -
Revisión: 01	Fecha de Aprobación: -	Página 2 de 2

5.1.5. Se debe definir el inventario de seguridad como un porcentaje del espacio disponible en bodega, sin exceder el espacio de almacenamiento de la empresa, mediante la Ecuación 3.

$$\text{Inventario de seguridad} = \text{Porcentaje IS} * \text{Espacio bodega} \quad (3)$$

5.1.6. Calcular el inventario final y las roturas mediante la diferencia del inventario disponible menos la demanda, cabe destacar que, el objetivo del plan agregado nivelador corresponde a mantener como inventario final un número superior o igual al inventario de seguridad. Utilizar la Ecuación 4.

$$\text{Inventario final} = \text{Disponible} - \text{Demanda} \quad (4)$$

5.1.7. Se debe realizar el análisis de las roturas de inventario mediante la consideración de los números negativos obtenidos, lo cual indica que, el plan de producción y el inventario inicial no son suficientes para cubrir el requerimiento de ese periodo.

5.1.3. Actualizar los resultados según los pronósticos generados cada semana.

5.2. Elaboración del plan maestro de producción

5.2.1. Calcular los datos de ventas semanales en m³ de la data histórica disponible y obtener la proporción promedio del total por producto, este dato se considera como la distribución de tiempo que utiliza actualmente la empresa producto de la planificación. Este porcentaje se calcula a partir de las ventas reales por gas en m³ dividido entre el total de ventas de dicho gas.

5.2.2. Tomar los resultados obtenidos del plan de producción y desagregarlo por tipo de producto con el porcentaje de distribución obtenido, el plan maestro mantiene una periodicidad semanal, específicamente 12 semanas. Utilizar la Ecuación 5.

$$\text{Requerimiento} = \text{Plan de producción} * \text{Proporción promedio} \quad (5)$$

- **Ficha del proceso de planificación de la capacidad**

	PROCEDIMIENTO DE PLANIFICACIÓN DE LA CAPACIDAD	Código: -
Revisión: -	-	Página 1 de 2

1. Objetivo

Establecer los lineamientos para la ejecución del proceso de planificación de la capacidad.

2. Alcance

Este procedimiento se aplica al sistema integrado de planificación y control de INFRA G.I. de Costa Rica S.A.

3. Roles

La ejecución del proceso se encuentra bajo la responsabilidad del jefe de planta.

4. Definiciones

4.1. Planificación de la capacidad: Está ligado al proceso de los programas diarios o semanales de producción e implica efectuar ajustes para que no haya variación entre la producción planeada y la real.

4.2. Tiempo de ciclo: Describe cuánto tiempo toma completar una tarea específica desde el comienzo hasta el final.

5. Procedimiento

Para llevar a cabo la ejecución de este proceso, se debe hacer uso del módulo tres de la herramienta de soporte. Además, como entrada es necesario conocer el tiempo disponible y de ciclo de cada proceso, se utilizan los tiempos de ciclo calculados para cada una de las tareas que conforman los procesos productivos de Ar, N₂, CO₂ y O₂, además, el tiempo disponible corresponde a 436,8 minutos por jornada laboral.

Se debe ajustar el tiempo disponible, para ello, se debe multiplicar la cantidad de bancos o cilindros requeridos de cada línea de trabajo por el tiempo de alisto correspondiente a dicho gas y se debe restar el resultado al tiempo disponible para obtener el tiempo efectivo.

5.1. Cálculo de la carga generada por la línea de producción

5.1.1. A partir de los requerimientos de producción según el MPS, se debe determinar la carga para cada una de las seis líneas de producción, para ello, se debe calcular el cociente de la cantidad de m³ entre la tasa de producción con el fin de obtener el número de horas necesarias para envasar una unidad o banco. Utilizar la Ecuación 1.

$$\text{Horas requeridas} = \frac{\text{Requerimiento}}{\text{Tasa de producción}} \quad (1)$$

	PROCEDIMIENTO DE PLANIFICACIÓN DE LA CAPACIDAD	Código: -
Revisión: -	-	Página 2 de 2

5.3. Cálculo de la capacidad necesaria por periodo

5.3.1. Se debe sumar las cargas asociadas a cada línea de producción para obtener la totalidad por periodo planificado.

5.3.2. Se compara el total contra el tiempo disponible efectivo para determinar si es suficiente para cubrir el requerimiento.

5.3.3. En caso de que el requerimiento supere la capacidad, se debe considerar que es posible producir hasta tres gases durante el mismo periodo de tiempo, para ello, se debe realizar una evaluación preliminar de la distribución de tiempo dedicado a cada uno de los gases durante el tiempo disponible, para lo cual, se debe identificar los tiempos de ciclo más extensos por periodo de planificación y considerar los siguientes aspectos:

5.3.3.1. Si se produce tanto Ar como N₂, se deben sumar los tiempos de ciclo.

5.3.3.2. Si se produce CO₂ con y sin sifón, sumar los tiempos de ciclo.

5.3.3.3. El tiempo de ciclo de O₂ se debe comparar con los dos anteriores y el más extenso corresponde al tiempo total requerido por periodo; es decir, este resultado es el que se compara contra el tiempo efectivo disponible.

5.4. Determinación de capacidad transitoria

5.4.1. Se debe verificar si el total de tiempo requerido supera el total disponible y en caso de superarlo se debe obtener la diferencia de horas necesarias para cubrir el requerimiento, de lo cual se debe comparar contra la capacidad de horas extra permitidas por la organización.

5.4.2. En caso de necesitar ajustar los recursos a la disponibilidad actual, se deben corregir las órdenes de producción desplazando la cantidad de m³ a producir en los periodos que se sobrepasan las horas extra autorizadas, a los días con menos carga de trabajo, esto permitirá ajustar la capacidad disponible y necesaria sin tener que incurrir en sobrepasar los límites de capacidad.

5.5. Cálculo de mano de obra requerida

5.5.1. Se debe determinar la cantidad de líneas de producción disponibles y la capacidad máxima de producción, en este caso, la capacidad máxima es igual a la tasa de producción debido a que solamente se cuenta con 1 línea por gas. Se debe obtener el máximo de producción semanal mediante la Ecuación 2.

$$\text{Capacidad máxima semanal} = \frac{\text{Tasa de producción}}{\text{Tiempo efectivo}} \quad (2)$$

5.5.1. Además, es necesario conocer la cantidad de operarios necesarios por línea para ejecutar la operación, para ello se debe estimar la cantidad de colaboradores necesarios para el uso de la línea.

5.5.2. Para obtener el porcentaje de uso de la capacidad, se debe dividir el requerimiento entre la capacidad máxima calculada y el resultado de esta estimación, se multiplica por la cantidad de operarios necesarios por línea, así obteniendo la mano de obra requerida.

- **Ficha del proceso de planificación de la capacidad a nivel operativo**

	PROCEDIMIENTO DE PLANIFICACIÓN DE LA CAPACIDAD A NIVEL OPERATIVO	Código: -
Revisión: 01	-	Página 1 de 2

1. Objetivo

Desagregar a un plano diario el requerimiento establecido en el MPS semanal, con el fin de establecer la cantidad óptima a producir por día, el momento y los encargados de ejecutar el llenado de cilindros de O₂, CO₂, N₂, y Ar.

2. Alcance

Este procedimiento se aplica al sistema integrado de planificación y control de INFRA G.I. de Costa Rica S.A.

3. Roles

La ejecución del proceso se encuentra bajo la responsabilidad del jefe de planta.

4. Definiciones

4.1. Centro de trabajo: Unidad productiva compuesta por las líneas de llenado, materiales y personal, encargado de la producción de uno o varios tipos de gas.

4.2. Herramienta Solver: Ajusta los valores de las variables de decisión con el fin de optimizar un objetivo, ya sea minimizar o maximizar, bajo las restricciones dadas.

5. Procedimiento

5.1. Cálculo de la cantidad óptima a producir

5.1.1. Se establecen los criterios que aseguran que la cantidad a producir es óptima, en esta tarea se debe definir si se pretende minimizar la cantidad de días que operen los centros de trabajo, reducir el tiempo ocioso, minimizar el tiempo de alisto o minimizar los desperdicios por llenado de bancos incompletos. De acá sale la función o funciones objetivo.

5.1.2. Se procede a identificar las restricciones del sistema productivo, donde se considera la disponibilidad de cilindros, de recurso humano y de tiempo disponible. También, si existe alguna situación que atrase o condicione el llenado, se debe contemplar de modo que no afecte al ejecutar la producción.

5.1.4. Plantear el modelo de optimización, basarse en las restricciones y la función objetivo para establecer el modelo. Luego, usar como entrada el requerimiento semanal por gas, de modo que, utilizando el módulo cuatro de la herramienta de soporte, se logre encontrar la cantidad óptima a producir por gas para cada día de la semana que minimice los desperdicios y además, de la herramienta se logra estimar el tiempo de fabricación necesario para cada requerimiento, de modo que se estime la cantidad de tiempo necesaria, para que se pueda distribuir posteriormente entre la jornada semanal de acuerdo a la disponibilidad de recursos.

	PROCEDIMIENTO DE PLANIFICACIÓN DE LA CAPACIDAD A NIVEL OPERATIVO	Código: -
Revisión: -	-	Página 2 de 2

5.2. Segregación por SKU

5.2.1. Segregar el requerimiento diario de cada tipo de gas a nivel de SKU. Para esto, se toma el porcentaje de distribución de los SKU y se multiplica por la cantidad total, esto apoyándose en el módulo cuatro de la herramienta de soporte, donde se realizan las multiplicaciones y se obtiene como resultado la cantidad a producir de cada SKU.

5.3. Asignación de los recursos disponibles

5.3.1. El modelo de optimización da como resultado la cantidad que se debe fabricar por cada día de la semana y el tiempo que se empleará en fabricarlo, a partir de esto, se procede a asignar el momento y los operarios a los centros de trabajo, donde según la carga y el tiempo requerido se distribuyen los cuatro trabajadores en los tres centros de trabajo.

5.3.2. Al tener los recursos asignados, se logra tener la secuencia de fabricación definitiva a realizar, por lo que se estima el tiempo de terminación de cada trabajo, este permite conocer el momento exacto en que se libera producto terminado. Posterior a esta tarea se da la ejecución de la producción.

5.4. Seguimiento de la secuencia propuesta

5.4.1. Al iniciar la producción, se realiza un seguimiento al cumplimiento de la secuencia propuesta conforme se avanza durante la semana, donde se pueden realizar ajustes de acuerdo con el panorama real.

5.4.1. En esta actividad se cuantifica la cantidad sobrante o faltante de cilindros que hay por jornada laboral. De modo que sea posible conocer el impacto de la variación en la disponibilidad de cilindros por día.

Apéndice 14. Fichas técnicas de los procesos productivos

A continuación, se presentan las fichas técnicas realizadas para cada uno de los procesos productivos para el envasado de gas, desarrollados en la subsección 2.6 del diseño.

- **Ficha del proceso de envasado de oxígeno**

	PROCEDIMIENTO DE ENVASADO DE OXÍGENO	Código: -
Revisión: -	Fecha de Aprobación: -	Página 1 de 4

1. Objetivo

Establecer los lineamientos para manejar y llenar los cilindros de alta presión de oxígeno.

2. Alcance

Este procedimiento se aplica a la estación de INFRA G.I. de Costa Rica S.A.

3. Responsabilidades

Responsabilidades	Jefe de Planta	Operador
Verificar que se aplique este procedimiento.	X	
Capacitar el personal debidamente calificado para llenado de cilindros de oxígeno de acuerdo con este instructivo.	X	
Realizar el llenado de los cilindros de oxígeno a alta presión y manejar las líneas de llenado de acuerdo con este procedimiento.		X
Coordinar las actividades de mantenimiento de cilindros.	X	
Verificar y archivar la documentación.	X	

4. Definiciones

4.1. Banco: es un conjunto de válvulas al cual se le conectan cilindros para el envasado de un determinado gas.

4.2. Pigtail: es una manguera flexible con niple y tuerca de un determinado gas para conectar los cilindros al banco.

5. Desarrollo

5.1. LINEAMIENTOS DE SEGURIDAD

5.1.1. Únicamente podrán llenarse los cilindros que se hayan inspeccionado de acuerdo con el Instructivo de Inspección Previa al Envasado (I-EV-01). Verificar que la calcomanía de identificación del gas esté en buenas condiciones, si no, colocarle una nueva.

5.1.2. Al abrir las válvulas de los cilindros o de una línea a alta presión, debe hacerse lenta y cuidadosamente.

	PROCEDIMIENTO DE ENVASADO DE OXÍGENO	Código: -
Revisión: -	Fecha de Aprobación: -	Página 2 de 4

5.2. CONEXIÓN Y PREPARACIÓN DE CILINDROS DE OXÍGENO

5.2.1. Debe asegurarse que la bomba PO-1 este energizada.

5.2.2. Verificar que la calcomanía de identificación del gas y el código de barras esté en buenas condiciones, sino colocarle una nueva.

5.2.3. Acercar los cilindros vacíos e inspeccionados al banco de llenado. Se debe verificar la cantidad de bancos a llena. El traslado 1 corresponde a acercar los primeros 24 cilindros al banco de llenado desde el cepo de cilindros vacíos; puede variar a 48 cilindros si se llena un segundo banco. El traslado 2 consiste en acercar los cilindros a los laterales de la línea de llenado y una vez ubicados se les debe retirar la tapa; este se ejecuta solamente si se envasan hasta cuatro bancos. El traslado 3 consiste en ubicar los cilindros al frente de la línea de llenado, se realiza solo si se envasa un quinto lote.

5.2.4. Realizar el cambio de estado (vacío) a todos los cilindros, verificar que todos tengan la última prueba hidrostática actualizada y que no se encuentren en orden de transferencia.

5.2.5. Anotar el número de serie de los cilindros en la Hoja de Control Diario de Llenado (REV-03) o imprimir el reporte generado por el sistema al hacerles cambio de estado a lleno. Asegurarse que la cantidad de cilindros que se van a llenar concuerden con la hoja de producción o el reporte del sistema.

5.2.6. Conectar los cilindros vacíos, a los pigtails de las líneas de llenado. Apretar correctamente las conexiones utilizando la llave 1 1/8".

5.2.7. Verificar que todas las válvulas estén cerradas y abrir las llaves de venteo.

5.2.8. Abrir las válvulas de los cilindros, ya conectados, para el venteo de estos.

5.2.9. Cerrar la válvula de venteo.

5.2.10. Abrir la válvula de vacío y presionar el botón de encendido de la bomba de vacío (se enciende la luz verde).

5.2.11. Esperar hasta que la bomba de vacío llegue mínimo a una presión negativa de - 20 Psi. Cerrar las válvulas de vacío del banco.

5.2.12. Realizar la prueba de martillo para verificar que el cilindro se encuentre en buenas condiciones.

5.2.13. Mantener un cilindro cerrado para recuperar la presión residual al final del llenado.

5.2.14. Abrir la válvula de Oxígeno de alta presión del banco de llenado.

5.2.15. Realizar el enfriamiento de la bomba, asegurarse que las válvulas primarias de gas y líquido a la bomba se encuentren abiertas

	PROCEDIMIENTO DE ENVASADO DE OXÍGENO	Código: -
Revisión: -	Fecha de Aprobación: -	Página 3 de 4

5.2.16. Verificar que la válvula de purga de la línea de gas que va a la bomba se encuentre cerrada.

5.2.17. Abrir la válvula para darle paso al gas y al líquido, dejar enfriar entre 10–15 minutos.

5.2.18. Encender la bomba PO-1.

5.2.19. Realizar detecciones de fugas, a 750 y a 1500 psi de presión.

5.2.20. Realizar la prueba del tacto a los cilindros llenos a una presión igual o mayor de 1000 psi. Si el cilindro está caliente al tacto, significa que se está llenando. De lo contrario, verificar si la válvula del cilindro está cerrada, si no se puede abrir, identificarlo y enviarlo a mantenimiento.

5.2.21. Al llegar a los 2000 psi de presión se mide la temperatura de varios cilindros, para determinar hasta que presión se debe llenar el banco, de acuerdo con la tabla presión-temperatura.

5.3. FINALIZACIÓN DEL LLENADO DE CILINDROS DE OXÍGENO

5.3.1. Apagar la bomba PO-1 cuando el manómetro indique la presión de acuerdo con la Tabla de Llenado Presión-Temperatura de Oxígeno, según el tipo de cilindro y la temperatura de este.

5.3.2. Cerrar las válvulas de gas y líquido del tanque, ventear la línea.

5.3.3. Cerrar las válvulas de los cilindros.

5.3.4. Abrir el cilindro que se mantuvo cerrado para recuperar la presión.

5.3.5. Desconectar los pigtailes de las válvulas de los cilindros utilizando la llave 1 1/8”.

5.3.6. El analista debe seguir el proceso de liberación de producción (si la inspección fue satisfactoria se continua con el proceso, de lo contrario se deben colocar los cilindros en aislamiento y revisar uno por uno).

5.3.7. Colocar la etiqueta del lote y el sello de calidad. Se les colocan las tapas a los cilindros. Y se retiran de la línea.

5.3.8. Trasladar los cilindros al área de almacenamiento de producto conforme.

5.4. CAMBIO DE LA LÍNEA DE OXÍGENO

5.4.1. Verificar que las válvulas del banco a utilizar se encuentren cerradas.

5.4.2. Cerrar la válvula de oxígeno de alta presión de la línea que se terminó de llenar, cuando el manómetro indique la presión de acuerdo con la Tabla de Llenado Presión-Temperatura de Oxígeno, según el tipo de cilindro y la temperatura de este.

	PROCEDIMIENTO DE ENVASADO DE OXÍGENO	Código: -
Revisión: -	Fecha de Aprobación: -	Página 4 de 4

5.4.3. Abrir lentamente la válvula de alta presión del banco que va a llenar.

5.4.4. Cerrar la válvula de los cilindros llenos.

5.4.5. Abrir el cilindro que se mantuvo cerrado para recuperar la presión en la línea.

5.4.6. Ventear presión restante.

5.4.7. Repetir los pasos 5.2.5 hasta el 5.2.8.

5.5. CONTROL DE LA PRODUCCIÓN

5.5.1. Al finalizar el envasado, el Llenador de Cilindros anota en la hoja de Control Diario de Envasado (R-EV-03), el nivel del tanque de Oxígeno. Además del sistema se puede sacar un Reporte de Producción de Gases y Líquidos.

5.5.2. Con esta información, el jefe de planta ingresa al sistema de producción del día.

- **Ficha del proceso de envasado de nitrógeno**

	PROCEDIMIENTO DE ENVASADO DE NITRÓGENO	Código: -
Revisión: -	-	Página 1 de 3

1. Objetivo

Establecer los lineamientos para manejar y llenar los cilindros de alta presión de Nitrógeno.

2. Alcance

Este instructivo se aplica a la estación de INFRA G.I. de Costa Rica S.A.

3. Responsabilidades

Responsabilidades	Jefe de Planta	Operador
Verificar que se aplique este procedimiento.	X	
Capacitar el personal debidamente calificado para llenado de cilindros de nitrógeno de acuerdo con este instructivo.	X	
Realizar el llenado de los cilindros de nitrógeno a alta presión y manejar las líneas de llenado de acuerdo con este procedimiento.		X
Coordinar las actividades de mantenimiento de cilindros.	X	
Verificar y archivar la documentación.	X	

4. Definiciones

4.1. Banco: es la línea de válvulas a la cual se conectan los cilindros para el envasado de un determinado gas.

4.2. Pigtail: es una manguera flexible con niple y tuerca CGA de un determinado gas para conectar los cilindros al banco.

5. Desarrollo

5.1. LINEAMIENTOS DE SEGURIDAD

5.1.1. Únicamente podrán llenarse los cilindros que se hayan inspeccionado de acuerdo con el Instructivo de Inspección Previa al Envasado (I-EV-01). Verificar que la calcomanía de identificación del gas esté en buenas condiciones, si no, colocarle una nueva.

5.1.2. Al abrir las válvulas de los cilindros o de una línea a alta presión, debe hacerse lenta y cuidadosamente.

5.2. CONEXIÓN Y PREPARACIÓN DE CILINDROS DE NITRÓGENO

5.2.1. Debe asegurarse que la bomba PN-1 este energizada.

5.2.2. Acercar los cilindros vacíos e inspeccionados al banco de llenado.

	PROCEDIMIENTO DE ENVASADO DE NITRÓGENO	Código: -
Revisión: -	-	Página 2 de 3

5.2.3. Verificar que la calcomanía de identificación del gas y el código de barras esté en buenas condiciones, sino colocarle una nueva.

5.2.4. Realizar el cambio de estado (vacío) a todos los cilindros verificar que todos tengan la última prueba hidrostática actualizada y que no se encuentren en orden de transferencia.

5.2.5. Anotar el número de serie de los cilindros en la Hoja de Control Diario de Llenado (REV-03) o imprimir el reporte generado por el sistema al hacerles cambio de estado a lleno. Asegurarse que la cantidad de cilindros que se van a llenar concuerden con la hoja de producción o el reporte del sistema.

5.2.6. Conectar los cilindros vacíos, a los pigtails de las líneas de llenado. Apretar correctamente las conexiones utilizando la llave 1 1/8”.

5.2.7. Verificar que todas las válvulas del manifold estén cerradas y abrir la válvula de venteo.

5.2.8. Abrir las válvulas de los cilindros, ya conectados, para el venteo de estos.

5.2.9. Cerrar la válvula de venteo.

5.2.10. Abrir la válvula de vacío y presionar el botón de encendido de la bomba de vacío (se enciende la luz verde).

5.2.11. Esperar hasta que la bomba de vacío llegue mínimo a una presión negativa de - 20 Psi. Cerrar las válvulas de vacío del banco.

5.2.12. Realizar la prueba de martillo para verificar que el cilindro se encuentre en buenas condiciones.

5.2.13. Mantener un cilindro cerrado para recuperar la presión residual al final del llenado.

5.2.14. Abrir la válvula de nitrógeno de alta presión del banco de llenado.

5.2.15. Realizar el enfriamiento de la bomba, además, se debe de asegurar que las válvulas primarias de gas y líquido a la bomba se encuentren abiertas.

5.2.16. Verificar que la válvula de purga de la línea de gas que va a la bomba se encuentre cerrada.

5.2.17. Abrir la válvula para darle paso al gas y al líquido, dejar enfriar entre 10 – 15 minutos.

5.2.18. Verificar fugas en la bomba y en las tuberías.

5.2.19. Encender la bomba PN-1.

	PROCEDIMIENTO DE ENVASADO DE NITRÓGENO	Código: -
Revisión: -	-	Página 3 de 3

5.2.20. Realizar detecciones de fugas, a 750 y a 1500 psi de presión.

5.2.21. Realizar la prueba del tacto a los cilindros llenos a una presión igual o mayor de 1000 psi. Si el cilindro está caliente al tacto, significa que se está llenando. De lo contrario, verificar si la válvula del cilindro está cerrada, si no se puede abrir, identificarlo y enviarlo a mantenimiento.

5.2.22. Al llegar a los 2000 psi de presión se mide la temperatura de varios cilindros, para determinar hasta que presión se debe llenar el banco, de acuerdo con la tabla presión-temperatura.

5.2.23. Cuando el manómetro indica la presión de llenado, se apaga la bomba.

5.2.24. Cerrar la válvula de gas y la válvula de líquido a la bomba, abrir la válvula de purga.

5.2.25. Cerrar los cilindros y abrir el cilindro para recuperación de gas en la tubería.

5.2.26. Si se van a llenar más de un banco seguir los mismos pasos 5.2.2, 5.2.3, 5.2.6 – 5.2.13.

5.2.27. Cerrar la válvula de alta presión del banco que se está terminando de llenar y abrir lentamente la válvula de alta del siguiente banco.

5.2.28. Continuar con los pasos 5.2.20-5.2.25.

5.3. FINALIZACIÓN DEL LLENADO DE CILINDROS DE NITRÓGENO

5.3.1. Desconectar los pigtails de las válvulas de los cilindros llenos utilizando la llave 1 1/8”.

5.3.2. El analista debe seguir el proceso de liberación de producción (si la inspección fue satisfactoria se continua con el proceso, de lo contrario se deben colocar los cilindros en aislamiento y revisar uno por uno).

5.3.3. Colocar la etiqueta del lote y el sello de calidad. Se les coloca las tapas a los cilindros. Y se retiran de la línea.

5.3.4. Trasladar los cilindros al área de almacenamiento de producto conforme.

5.4. CONTROL DE LA PRODUCCIÓN

5.4.1. Al finalizar el envasado, el Llenador de Cilindros anota en la hoja de Control Diario de Envasado (R-EV-03), el nivel del tanque de Nitrógeno. Además del sistema se puede sacar un Reporte de Producción de Gases y Líquidos.

5.4.2. Con esta información, el jefe de planta ingresa al sistema de producción del día.

- **Ficha del proceso de envasado de argón**

	PROCEDIMIENTO DE ENVASADO DE ARGÓN	Código: -
	Revisión: -	-

1. Objetivo

Establecer los lineamientos para manejar y llenar los cilindros de alta presión de Nitrógeno.

2. Alcance

Este instructivo se aplica a la estación de INFRA G.I. de Costa Rica S.A.

3. Responsabilidades

Responsabilidades	Jefe de Planta	Operador
Verificar que se aplique este procedimiento.	X	
Capacitar el personal debidamente calificado para llenado de cilindros de argón de acuerdo con este instructivo.	X	
Realizar el llenado de los cilindros de argón a alta presión y manejar las líneas de llenado de acuerdo con este procedimiento.		X
Coordinar las actividades de mantenimiento de cilindros.	X	
Verificar y archivar la documentación.	X	

4. Definiciones

4.1. Banco: es la línea de válvulas a la cual se conectan los cilindros para el envasado de un determinado gas.

4.2. Pigtail: es una manguera flexible con niple y tuerca CGA de un determinado gas para conectar los cilindros al banco.

5. Desarrollo

5.1. LINEAMIENTOS DE SEGURIDAD

5.1.1. Únicamente podrán llenarse los cilindros que se hayan inspeccionado de acuerdo con el Instructivo de Inspección Previa al Envasado (I-EV-01). Verificar que la calcomanía de identificación del gas esté en buenas condiciones, si no, colocarle una nueva.

5.1.2. Al abrir las válvulas de los cilindros o de una línea a alta presión, debe hacerse lenta y cuidadosamente.

5.2. CONEXIÓN Y PREPARACIÓN DE CILINDROS DE ARGÓN

5.2.1. Debe asegurarse que la bomba PA-1 este energizada.

5.2.2. Acercar los cilindros vacíos e inspeccionados al banco de llenado.

5.2.3. Verificar que la calcomanía de identificación del gas y el código de barras esté en buenas condiciones, sino colocarle una nueva.

	PROCEDIMIENTO DE ENVASADO DE ARGÓN	Código: -
Revisión: -	-	Página 2 de 3

5.2.4. Realizar el cambio de estado (vacío) a todos los cilindros verificar que todos tengan la última prueba hidrostática actualizada y que no se encuentren en orden de transferencia.

5.2.5. Anotar el número de serie de los cilindros en la Hoja de Control Diario de Llenado (R-EV-03) o imprimir el reporte generado por el sistema al hacerles cambio de estado a lleno. Asegurarse que la cantidad de cilindros que se van a llenar concuerden con la hoja de producción o el reporte del sistema.

5.2.6. Conectar los cilindros vacíos, a los pigtails de las líneas de llenado. Apretar correctamente las conexiones utilizando la llave 1 1/8".

5.2.7. Verificar que las válvulas del manifold estén cerradas y abrir la llave de venteo.

5.2.8. Abrir las válvulas de los cilindros, ya conectados, para el venteo de estos.

5.2.9. Cerrar la válvula de venteo.

5.2.10. Abrir la válvula de vacío y presionar el botón de encendido de la bomba de vacío (se enciende la luz verde).

5.2.11. Esperar hasta que la bomba de vacío llegue mínimo a una presión negativa de - 20 Psi. Cerrar las válvulas de vacío del banco.

5.2.12. Abrir válvula de baja.

5.2.13. Cerrar válvula de baja y repetir los puntos 5.2.7 a 5.2.12 durante 3 veces, esto corresponde a los barridos de la línea. Cabe destacar que, en el tercer barrido no se realizan los pasos 5.2.12 y 5.2.13, pasar al punto 5.12.14.

5.2.14. Realizar la prueba de martillo para verificar que el cilindro se encuentre en buenas condiciones.

5.2.15. Abrir la válvula de argón de alta presión del banco de llenado.

5.2.16. Realizar el enfriamiento de la bomba, hay que asegurar que las válvulas primarias de gas y líquido a la bomba se encuentren abiertas.

5.2.17. Verificar que la válvula de purga de la línea de gas que va a la bomba se encuentre cerrada.

5.2.18. Abrir la válvula para darle paso al gas, dejar enfriar entre 10 – 15 minutos.

5.2.19. Verificar fugas en la bomba y en las tuberías.

5.2.20. Encender la bomba PA-1.

5.2.21. Realizar detecciones de fugas, a 750 y a 1500 psi de presión.

	PROCEDIMIENTO DE ENVASADO DE ARGÓN	Código: -
Revisión: -	-	Página 3 de 3

5.2.22. Realizar la prueba del tacto a los cilindros llenos a una presión igual o mayor de 1000 psi. Si el cilindro está caliente al tacto, significa que se está llenando. De lo contrario, verificar si la válvula del cilindro está cerrada, si no se puede abrir, identificarlo y enviarlo a mantenimiento.

5.2.23. Al llegar a los 2000 psi de presión se mide la temperatura de varios cilindros, para determinar hasta que presión se debe llenar el banco, de acuerdo con la tabla presión-temperatura.

5.2.24. Cuando el manómetro indica la presión de llenado, se apaga la bomba.

5.2.25. Cerrar la válvula de gas y la válvula de líquido a la bomba, abrir la válvula de purga.

5.2.26. Cerrar los cilindros.

5.2.27. Se ventea la línea de alta presión.

5.2.28. Si se van a llenar más de un banco seguir los mismos pasos 5.2.2, 5.2.3, 5.2.6 – 5.2.13.

5.2.29. Cerrar la válvula de alta presión del banco que se está terminando de llenar y abrir lentamente la válvula de alta del siguiente banco.

5.2.30. Continuar con los pasos 5.2.20-5.2.25.

5.3. FINALIZACIÓN DEL LLENADO DE CILINDROS DE ARGÓN

5.3.1. Desconectar los pigtails de las válvulas de los cilindros llenos utilizando la llave 1 1/8”.

5.3.2. El analista debe seguir el proceso de liberación de producción (si la inspección fue satisfactoria se continua con el proceso, de lo contrario se deben colocar los cilindros en aislamiento y revisar uno por uno).

5.3.3. Colocar la etiqueta del lote y el sello de calidad. Se les coloca las tapas a los cilindros. Y se retiran de la línea.

5.3.4. Trasladar los cilindros al área de almacenamiento de producto conforme.

5.4. CONTROL DE LA PRODUCCIÓN

5.4.1. Al finalizar el envasado, el Llenador de Cilindros anota en la hoja de Control Diario de Envasado (R-EV-03), el nivel del tanque de Argón. Además del sistema se puede sacar un Reporte de Producción de Gases y Líquidos.

5.4.2. Con esta información, el jefe de planta ingresa al sistema de producción del día.

- **Ficha del proceso de envasado de dióxido de carbono**

	PROCEDIMIENTO DE ENVASADO DE DIÓXIDO DE CARBONO	Código: -
	Revisión: -	-

1. Objetivo

Establecer los lineamientos para manejar y llenar los cilindros de alta presión de dióxido de carbono.

2. Alcance

Este instructivo se aplica a la estación de INFRA G.I. de Costa Rica S.A.

3. Responsabilidades

Responsabilidades	Jefe de Planta	Operador
Verificar que se aplique este procedimiento.	X	
Capacitar el personal debidamente calificado para llenado de cilindros de argón de acuerdo con este instructivo.	X	
Realizar el llenado de los cilindros de argón a alta presión y manejar las líneas de llenado de acuerdo con este procedimiento.		X
Coordinar las actividades de mantenimiento de cilindros.	X	
Verificar y archivar la documentación.	X	

4. Definiciones

4.1. Manifold: es la línea de válvulas a la cual se conectan los cilindros para el envasado de un determinado gas.

4.2. Pigtail: es una manguera flexible con niple y tuerca CGA de un determinado gas para conectar los cilindros al banco.

5. Desarrollo

5.1. LINEAMIENTOS DE SEGURIDAD

5.1.1. Únicamente podrán llenarse los cilindros que se hayan inspeccionado de acuerdo con el Instructivo de Inspección Previa al Envasado (I-EV-01). Verificar que la calcomanía de identificación del gas esté en buenas condiciones, si no, colocarle una nueva.

5.1.2. Al abrir las válvulas de los cilindros o de una línea a alta presión, debe hacerse lenta y cuidadosamente.

5.2. CONEXIÓN Y PREPARACIÓN DE CILINDROS DE DIÓXIDO DE CARBONO

5.2.1. Trasladar los cilindros del cepo de vacíos hacia el área de llenado o hacia el exterior de la planta. Si el cilindro cuenta con sifón, se le realiza el venteo en la parte exterior, por lo que se traslada hacia afuera y luego se traslada de regreso al área de llenado. Si el cilindro no tiene sifón, va directo al área de llenado y al llegar ahí, se abre la válvula y para iniciar con el venteo en la misma área.

	PROCEDIMIENTO DE ENVASADO DE DÍOXIDO DE CARBONO	Código: -
Revisión: -	-	Página 2 de 3

5.2.2. Verificar que la calcomanía de identificación del gas y el código de barras esté en buenas condiciones, sino colocarle una nueva.

5.2.3. Apuntar los datos de los cilindros, extintores, dewars o permacyl que se van a llenar al igual que el nivel inicial y presión del tanque en el registro Producción diaria de CO₂ (R-EV-16) o imprimir el reporte que genera el sistema.

5.2.4. Si se van a llenar extintores colocar el acople correspondiente.

5.2.5. Colocar la etiqueta del lote diaria en cada cilindro.

5.2.6. Verificar que la bomba esta energizada ya sea la Bomba 1 (PD-1) o la bomba 2 (PD- 2), según se requiera.

5.2.7. Abrir la válvula principal de líquido y la válvula de gas del tanque.

5.2.8. Abrir la válvula que da paso al líquido a la bomba que se va a utilizar.

5.2.9. Dejar enfriar la bomba entre 10 y 15 minutos.

5.2.10. Al transcurrir ese tiempo se enciende la bomba a utilizar en el llenado. Se colocan dos cilindros cada uno en una romana.

5.2.11. Colocar niple o picktail en lugar correcto y ajustar. Tarar las balanzas.

5.2.12. Si se va a llenar primero el cilindro que se encuentra en la ROMANA 1. Se debe abrir la válvula de llenado (se encuentra al lado izquierdo del manifold) y cerrar la válvula de retorno.

5.2.13. Cuando se llega al peso deseado se cierra la válvula de llenado, se abre el retorno y se cierra la válvula del cilindro.

5.2.14. Abrir la válvula del venteo para liberar la presión de la manguera.

5.2.15. Como se cuenta con dos líneas para el llenado de CO₂, en este punto sucede el cambio de línea, al cerrar la válvula de llenado del cilindro de un lado, inmediatamente se abre la válvula de llenado del segundo cilindro, el del otro lado, y este comienza a llenarse.

5.2.16. Mientras el segundo se llena, el operario desconecta el primer cilindro, lo retira de la tarima, le coloca el sello de calidad con calor y lo aparta con los demás que están llenos. Luego, procede a acercar otro cilindro vacío a la tarima vacía, se monta y se conecta a la línea, de modo de que al finalizar el llenado del segundo cilindro ya se tenga todo listo para continuar con el llenado de otro vacío. Este procedimiento se repite hasta culminar con todos los cilindros, alistando uno mientras el otro se llena.

5.2.17. Cuando se llega al peso deseado se cierra la válvula de llenado, se abre el retorno y se cierra la válvula del cilindro.

5.2.18. Abrir la válvula del venteo para liberar la presión de la manguera.

	PROCEDIMIENTO DE ENVASADO DE DIÓXIDO DE CARBONO	Código: -
Revisión: -	-	Página 3 de 3

5.2.19. Al finalizar el llenado se cierra la válvula de líquido y de gas del tanque, seguidamente se ventea el líquido atrapado en la tubería.

5.2.20. Realizar cambio de estado de vacío a lleno al cilindro, extintor o permacyl.

5.2.21. El analista debe seguir el proceso de liberación de producción (si la inspección fue satisfactoria se continua con el proceso, de lo contrario se deben colocar los cilindros en aislamiento y revisar uno por uno).

5.2.22. Trasladar los cilindros al área de almacenamiento de producto conforme.

5.3. CONTROL DE LA PRODUCCIÓN

5.3.1. Al terminar el llenado, el Llenador de Cilindros anota en la hoja de Producción Diario de CO₂ (R-EV-16) o reporte generado por el sistema, el nivel final del tanque de CO₂.

5.3.2. Con esta información, el jefe de planta ingresa al sistema de producción del día.

Apéndice 15. Tiempos estándar de los procesos productivos

Para el cálculo del tamaño de muestra se hace uso de la Ecuación 15.1.

$$n = \left(\frac{ts}{kx} \right)^2 \quad (42)$$

Donde:

- t = Valor de la distribución t
- s = Desviación de los datos
- k = Fracción aceptable del promedio
- x = Promedio de los datos

Se presenta un ejemplo de cálculo para la tarea traslado 1 de O₂:

$$n = \left(\frac{2,0352 * 5,67 \text{ s}}{0,09 * 45,74 \text{ s}} \right)^2 = 8$$

Seguido, para el cálculo del desempeño del operario, con el fin de ajustar el tiempo observado y calcular el tiempo normal, se utiliza la Ecuación 15.2. Cabe destacar que, la valoración se realizó a cada una de las muestras:

$$TN = TO * \frac{C}{100} \quad (43)$$

Donde:

- TN = Tiempo normal
- TO = Tiempo observado
- C = Calificación del desempeño del operario

Se presenta un ejemplo de cálculo para la tarea traslado 1 de O₂:

$$TN = 50,0 \text{ s} * \frac{90\%}{100\%} = 45,0 \text{ s}$$

Finalmente, se obtiene el tiempo estándar, a partir de la aplicación de las holguras al tiempo normal promedio.

$$TE = TN * (1 + \text{holgura}) \quad (44)$$

Donde:

- TE = Tiempo estándar
- TN = Tiempo normal
- Holgura

Se presenta un ejemplo de cálculo para la tarea traslado 1 de O₂:

$$TE = 44,7 \text{ s} * (1 + 13\%) = 50,5 \text{ s}$$

Cabe destacar que, los tiempos estándar presentados corresponden a los tiempos por banco en el caso de Ar, N₂ y O₂ y a cilindros para CO₂, por lo cual, se realizó la conversión respectiva según la unidad de medida para obtener el tiempo total.

Apéndice 16. Manual de usuario

A continuación, se describen las instrucciones a seguir para el uso de cada módulo de soporte.

16.1 Portada

La primera pantalla de la aplicación corresponde a la portada, para trasladarse al menú principal, debe de hacer clic en el botón “Menú principal”.

Figura 16.1.

Portada



- **Menú principal**

En esta pantalla, se visualizan los 5 módulos de trabajo para cada uno de los procesos. Para movilizarse al módulo deseado, debe hacer clic sobre el botón correspondiente.

Figura 16.2.

Menú principal

MENÚ PRINCIPAL



16.2 Módulo 1. Estimación de la demanda

La Figura 16.3 muestra la visualización previa del módulo 1.

Figura 16.3.

Módulo de estimación de la demanda



16.5.7 Pronóstico anual

Para la generación del pronóstico anual, se debe de seguir el siguiente orden.

- Seleccionar el botón de agregación de la demanda.
- Previamente, el usuario debe haber generado los datos de demanda semanales de todo el año acontecido para cada uno de los gases. Estas lecturas deben añadirse a las columnas Argón, Oxígeno, Dióxido de Carbono y Nitrógeno, para que, en la columna total, se obtenga el resultado agregado de demanda. Cabe destacar que, los datos deben de estar en unidades de m^3 .

Figura 16.4.

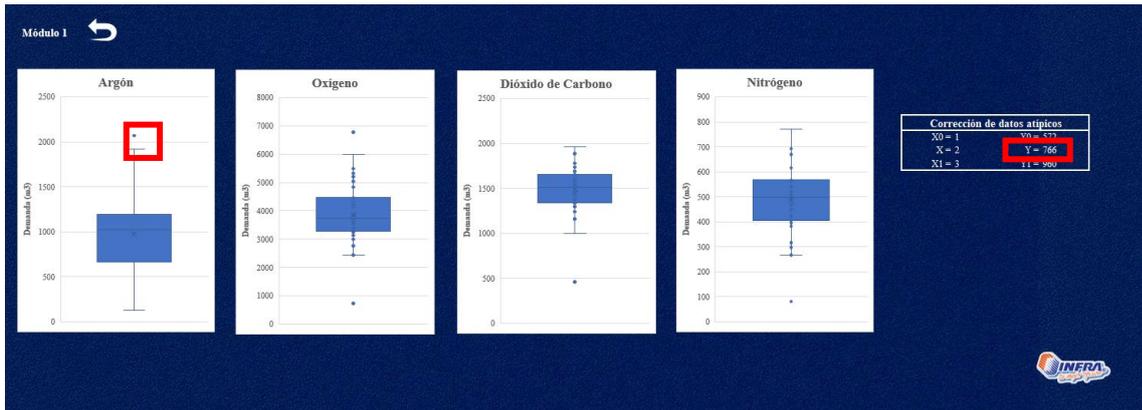
Datos de entrada para agregación de la demanda fijo

Año	Semana	Argón (m^3)	Oxígeno (m^3)	Dióxido de Carbono (m^3)	Nitrógeno (m^3)	Total (m^3)
2022	1					0,00
2022	2					0,00

- Seguido, el usuario debe volver al menú del módulo 1 y dirigirse a la pestaña de datos atípicos. En esta sección, se deben identificar de manera visual los valores extraños que se presenten en los gráficos, una vez identificados, el usuario debe corregir cada valor mediante la interpolación de datos, para ello debe identificar los datos de demanda anterior y posterior al dato atípico en la hoja de agregación de la demanda y colocarlos en las celdas O11 y O13. El valor obtenido en la celda O12 corresponde al dato corregido, el cual se utilizará como valor de demanda.

Figura 16.5.

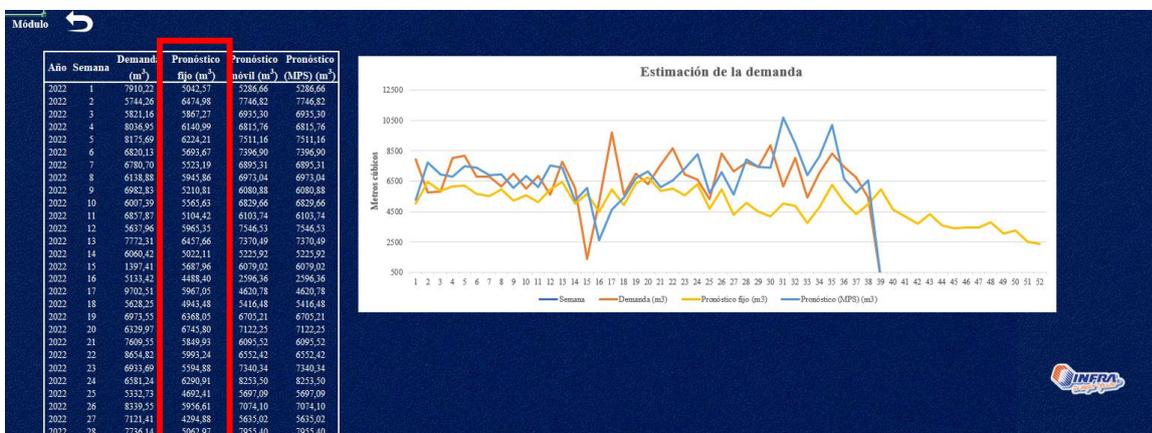
Estudio de datos atípicos agregación fija



- Una vez corregido el valor, debe volver a la pestaña de agregación de la demanda y escribir manualmente dichas lecturas.
- Con los datos atípicos corregidos, se debe seleccionar el botón de “Ajuste de datos para pronóstico anual” y seguido, debe seleccionar el botón de “Generar pronóstico anual”.
- Finalmente, el usuario debe trasladarse a la pestaña de “Resultados” para observar los datos generados por el modelo de proyección de la demanda, dichas lecturas están en m³ y representa el pronóstico anual fijo (Columna E) de la totalidad de gases, estos datos de pronóstico permitirán generar el plan de producción. Además, una vez registrados los datos de demanda real, deben añadirse en la columna demanda, para obtener el error de pronóstico, y así realizar los análisis pertinentes relacionados al cumplimiento de la meta de error.

Figura 16.6.

Pronóstico fijo



16.2.2. Pronóstico Móvil

Para la generación del pronóstico móvil, se debe de seguir el siguiente orden.

- Seleccionar el botón de agregación de la demanda.

- b. Previamente, el usuario debe haber generado el dato de demanda semanal para cada uno de los gases. Estas lecturas deben añadirse a las columnas Argón, Oxígeno, Dióxido de Carbono y Nitrógeno, para que, en la columna total, se obtenga el resultado agregado de demanda. Cabe destacar que, los datos deben de estar en unidades de m^3 y se debe rellenar solamente la semana correspondiente.

Figura 16.7.

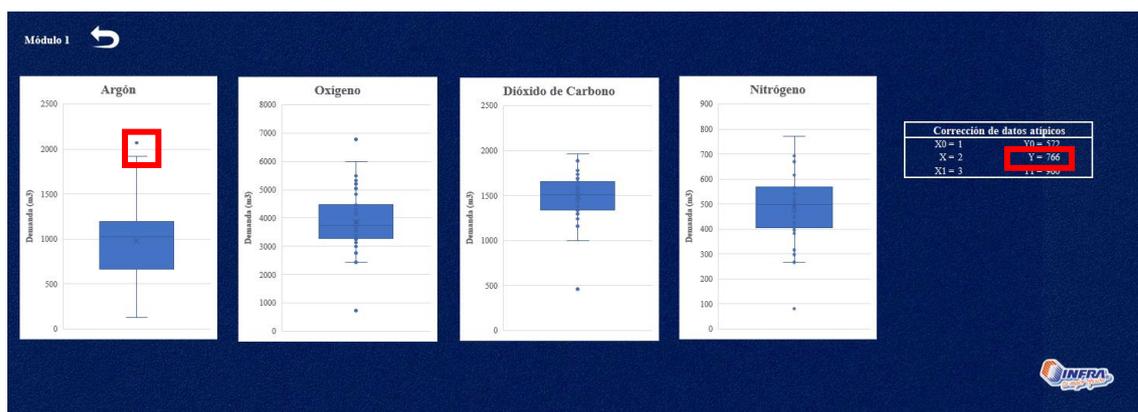
Datos de entrada para agregación de la demanda móvil

Año	Semana	Argón (m^3)	Oxígeno (m^3)	Dióxido de Carbono (m^3)	Nitrógeno (m^3)	Total (m^3)
2022	1					0,00
2022	2					0,00

- c. Seguido, el usuario debe volver al menú del módulo 1 y dirigirse a la pestaña de datos atípicos. En esta sección, se deben identificar de manera visual los valores extraños que se presenten en los gráficos, una vez identificados, el usuario debe corregir cada valor mediante la interpolación de datos, para ello debe identificar los datos de demanda anterior y posterior al dato atípico en la hoja de agregación de la demanda y colocarlos en las celdas O11 y O13. El valor obtenido en la celda O12 corresponde al dato corregido, el cual se utilizará como valor de demanda.

Figura 16.8.

Estudio de datos atípicos agregación móvil

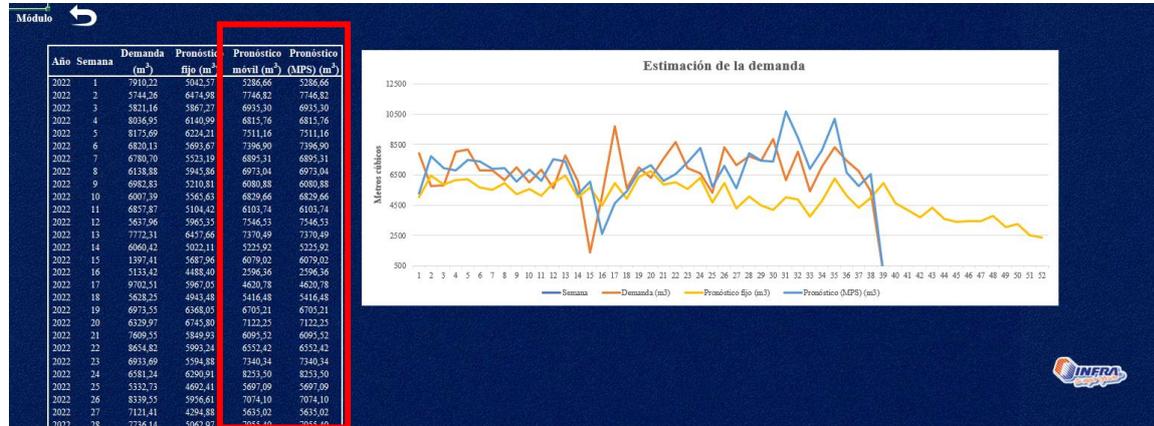


- d. Una vez corregido el valor, debe volver a la pestaña de agregación de la demanda y escribir manualmente dichas lecturas.
- e. Con los datos atípicos corregidos, se debe seleccionar el botón de “Generar pronóstico móvil”.
- f. Finalmente, el usuario debe trasladarse a la pestaña de “Resultados” para observar los datos generados por el modelo de proyección de la demanda, dichas lecturas están en m^3 y representa el pronóstico anual móvil (Columna F). Además, una vez registrados los datos de demanda real, deben añadirse en la columna demanda, para obtener el error de pronóstico, y así realizar los análisis pertinentes relacionados al cumplimiento de la meta de error.

- g. Se debe escribir en la columna G el dato de pronóstico generado de manera manual debido a que este valor es el que tomará la herramienta para la generación del MPS.

Figura 16.9.

Pronóstico móvil

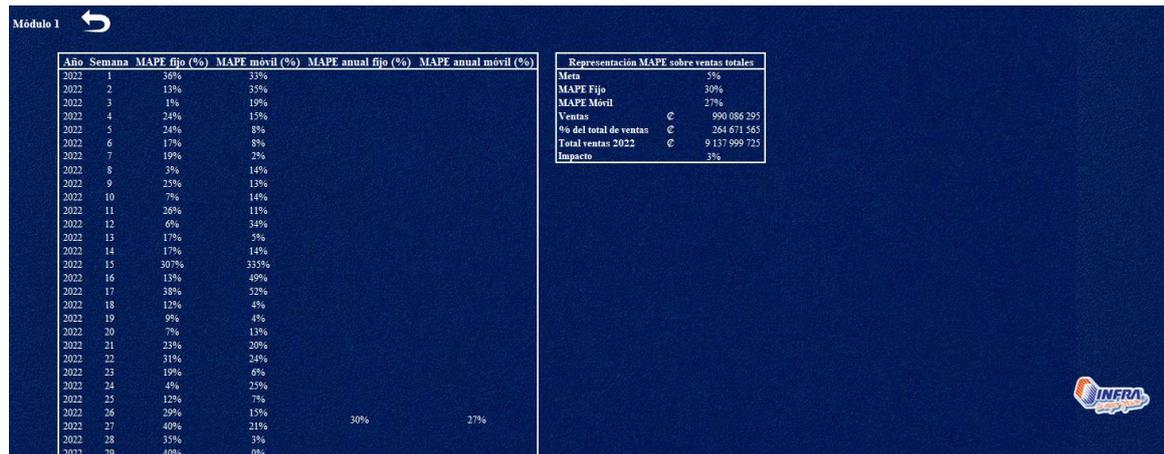


16.2.3. Error de pronóstico

La Figura 16.10 muestra la visualización previa de la pestaña de error de pronóstico.

Figura 16.10.

Pestaña de error de pronóstico



Para el análisis del error se debe:

- Tener agregado el dato de demanda real en la columna D de la pestaña “Resultados”.
- Rellenar la fila de ventas, la cual corresponde a la totalidad de ventas generadas por lo cuatro gases bajo estudio.
- Rellenar la fila total ventas, la cual corresponde a las ventas totales de la empresa en toda la cartera de productos.
- Comparar la meta con el impacto y verificar que se cumple.

Figura 16.11.

Cumplimiento de la meta de error de pronóstico

Representación MAPE sobre ventas totales	
Meta	5%
MAPE Fijo	24,32%
MAPE Móvil	11,06%
Ventas	₪ 1 196 055 407
% del total de ventas	₪ 132 263 089
Total ventas 2022	₪ 9 936 622 334
Impacto	1,33%

16.2. Módulo 2. Planificación de la producción

La Figura 16.12 muestra la visualización previa del módulo 2.

Figura 16.12.

Módulo de planificación de la producción



Para el uso de este módulo, se debe de seguir los siguientes pasos.

- Inicialmente, el usuario debe hacer clic sobre la pestaña de “Plan agregado de producción”, en esta se visualizan doce semanas del plan.
- En esta pestaña se presenta una tabla con las variables que van a permitir generar el plan agregado de producción, las cuales posteriormente, se utilizarán para la elaboración del plan maestro de producción.
- Las únicas variables que el usuario debe modificar el porcentaje de inventario inicial para el primer periodo, el porcentaje de inventario de seguridad para cada cuatro semanas y el número de semana.
- Primero, debe modificar la fila de semanas, para esto, transcurridas las primeras doce semanas, se debe modificar los valores a las siguientes doce semanas, es decir, de la semana trece a la veinticuatro; y así sucesivamente. Con esto, la herramienta es capaz de actualizar los datos de demanda automáticamente.

Figura 16.13.

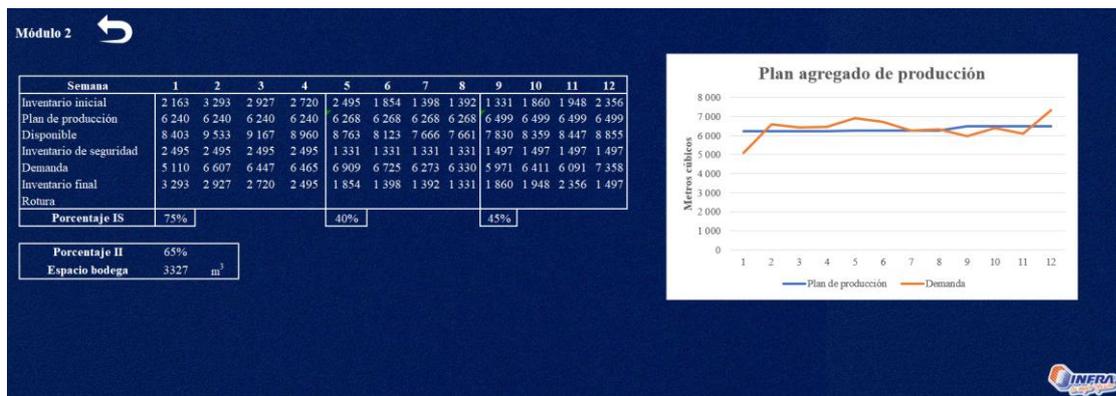
Celdas de semana para actualización de los datos

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Semana	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24

- e. Una vez actualizadas las semanas, el usuario debe modificar el inventario inicial para la semana inicial, utilizando el inventario final de la última semana.
- f. Seguido, se modifica el porcentaje IS, para lo cual el usuario debe estimar un porcentaje adecuado, de tal manera que, el inventario final no excediera el espacio de la bodega, que sea mayor o igual al inventario de seguridad y que no genere roturas.

Figura 16.14.

Plan agregado de producción



- g. Posteriormente, el usuario debe trasladarse a la pestaña de “Plan maestro de producción” para visualizar la distribución de metros cúbicos requerida por tipo de gas. En esta pestaña, el usuario no debe modificar la formulación ni las entradas.
- h. Cabe destacar que, la tabla “Parámetro de distribución de ventas mensuales” corresponde a un parámetro que puede ser modificado por el usuario de ser necesario, ya que corresponde al porcentaje de ventas correspondiente a cada producto.

Figura 16.15.

Plan maestro de producción

Módulo 2

Parámetro de distribución de ventas mensuales												
Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Argón	13.3%	14.4%	13.7%	14.9%	10.5%	14.6%	9.8%	13.7%	13.0%	12.1%	13.0%	12.6%
Dióxido de carbono con sifón	4.9%	7.2%	8.1%	5.9%	3.9%	6.2%	6.3%	5.7%	6.9%	3.9%	7.2%	7.4%
Dióxido de carbono sin sifón	18.8%	15.5%	17.3%	16.6%	15.5%	15.2%	16.6%	15.0%	18.3%	15.4%	15.7%	15.9%
Nitrógeno	8.5%	8.4%	8.5%	7.4%	7.0%	7.5%	7.2%	7.5%	8.1%	7.1%	8.4%	8.3%
Oxígeno	34.6%	34.4%	32.4%	35.5%	61.1%	36.5%	60.1%	38.1%	34.2%	39.6%	35.7%	35.6%

Plan agregado de producción en metros cúbicos												
Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Plan de producción	6 779	6 779	6 779	6 779	6 903	6 903	6 903	6 903	6 682	6 682	6 682	6 682

Requerimiento de producción semanal en metros cúbicos												
Mes	Enero			Febrero			Marzo			Abril		
Argón	902	902	902	902	991	991	991	991	913	913	913	913
Dióxido de carbono con sifón	331	331	331	331	506	506	506	506	543	543	543	543
Dióxido de carbono sin sifón	1 273	1 273	1 273	1 273	1 067	1 067	1 067	1 067	1 156	1 156	1 156	1 156
Nitrógeno	573	573	573	573	580	580	580	580	566	566	566	566
Oxígeno	3 700	3 700	3 700	3 700	3 728	3 728	3 728	3 728	3 504	3 504	3 504	3 504

Requerimiento de producción semanal en horas												
Mes	Enero			Febrero			Marzo			Abril		
Argón	3.29	3.29	3.29	3.29	3.61	3.61	3.61	3.61	3.33	3.33	3.33	3.33
Dióxido de carbono con sifón	0.97	0.97	0.97	0.97	1.48	1.48	1.48	1.48	1.58	1.58	1.58	1.58
Dióxido de carbono sin sifón	3.71	3.71	3.71	3.71	3.11	3.11	3.11	3.11	3.37	3.37	3.37	3.37
Nitrógeno	1.86	1.86	1.86	1.86	1.83	1.83	1.83	1.83	1.83	1.83	1.83	1.83
Oxígeno	12.62	12.62	12.62	12.62	12.82	12.82	12.82	12.82	11.96	11.96	11.96	11.96
Total requerido	22.45	22.45	22.45	22.45	22.90	22.90	22.90	22.90	22.07	22.07	22.07	22.07



16.3. Módulo 3. Planificación de la capacidad

La Figura 16.16 muestra la visualización previa del módulo 3.

Figura 16.16.

Módulo de planificación de la capacidad

MÓDULO 3. PLANIFICACIÓN DE LA CAPACIDAD



Carga por línea y capacidad requerida

Mano de obra requerida

Tiempos de ciclo y tiempo disponible



Menú principal

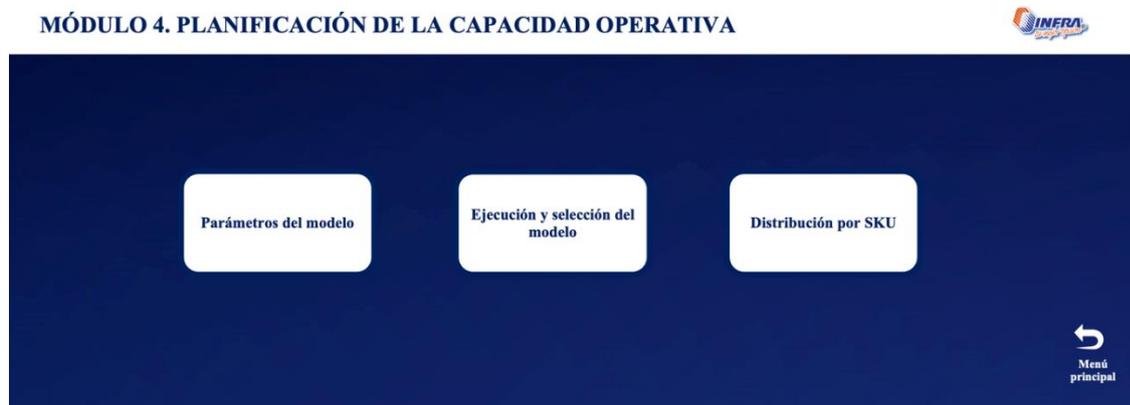
- a. El usuario debe hacer clic sobre la pestaña de “Carga por línea y capacidad requerida”, la cual le permite visualizar el requerimiento de producción en horas vs el tiempo disponible y hacer ajustes necesarios en la planificación en caso de necesitar horas extra. Plan de contingencia
- b. Una vez ajustado, es necesario que el usuario considere revisar el cálculo de mano de obra requerida, en este caso, se deben hacer ajustes en la columna “Operarios” solamente si se han reportado cambios en la cantidad de trabajadores necesarios para el manejo de la línea.
- c. Además, se incluye una pestaña de “Tiempos de ciclo y tiempo disponible” donde se muestran los tiempos estándar obtenidos por proceso, los porcentajes de tiempo disponible y las tasas de producción. Cabe destacar que, todos son constantes y en esta pestaña el usuario no debe realizar cambios, se debe utilizar como consulta.

16.4. Módulo 4. Planificación de la capacidad operativa

La Figura 16.17 muestra la visualización previa del módulo 4.

Figura 16.17.

Módulo de planificación de la capacidad operativa



Para el uso de este módulo, se debe de seguir los siguientes pasos.

- a. Primeramente, verificar y confirmar los datos de entrada que utiliza el modelo para obtener la distribución a nivel diario. El usuario debe hacer click sobre el botón “Parámetros del modelo”, este abrirá la siguiente pestaña:

Figura 16.18.

Parámetros del modelo

Módulo 4

Tiempo disponible (min)					
Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
480	480	480	480	480	255

Tiempo de llenado (min)					
O ₂	CO ₂ (con sifón)	CO ₂ (sin sifón)	N ₂	Ar	
30,61	2,20	2,20	33,92	34,07	

Tiempo de alistó (min)					
O ₂	CO ₂ (con sifón)	CO ₂ (sin sifón)	N ₂	Ar	
11,9	1,7	1,4	18,8	66,9	

Tiempo de set up (min)					
O ₂	CO ₂ (con sifón)	CO ₂ (sin sifón)	N ₂	Ar	
57,8	4,1	4,1	44,7	43,7	

Metros cúbicos disponibles por cilindros vacíos					
O ₂	CO ₂ (con sifón)	CO ₂ (sin sifón)	N ₂	Ar	
1049,8	477,0	477,0	174,5	311,5	

Mes	Requerimiento				
	O ₂	CO ₂ (con sifón)	CO ₂ (sin sifón)	N ₂	Ar
Febrero					
m ³	3758,34	506,32	1067,46	580,03	990,85
Bancos / Cilindros	26	46	96	4	7

	Ajuste por criterio experto				
	O ₂	CO ₂ (con sifón)	CO ₂ (sin sifón)	N ₂	Ar
m ³	3758,34	506,32	1067,46	580,03	990,85
Bancos / Cilindros	26	46	96	4	7

Porcentaje de distribución por SKU	
OXI001	43,5%
OXM001	25,6%
OXM005	14,0%
OXM006	10,9%
Otros de Oxígeno	6,0%
BIO003 sifón	21,3%
BIO027 sifón	3,2%
BIO002	49,2%
BIO009	9,2%
Otros de Dióxido de C	17,2%
NIT001	80,1%
NIT019	11,1%
Otros de Nitrógeno	8,8%
ARG001	98,1%
Otros de Argón	1,9%

- b. En esta pestaña se verifica que el tiempo disponible, el tiempo de llenado, el tiempo de alisto, el tiempo de set up, los metros cúbicos disponibles por los cilindros vacíos, el requerimiento y el porcentaje de distribución por SKU sean correctos. Además, en la parte seleccionada a continuación, se debe hacer el ajuste por criterio experto.

Figura 16.19.

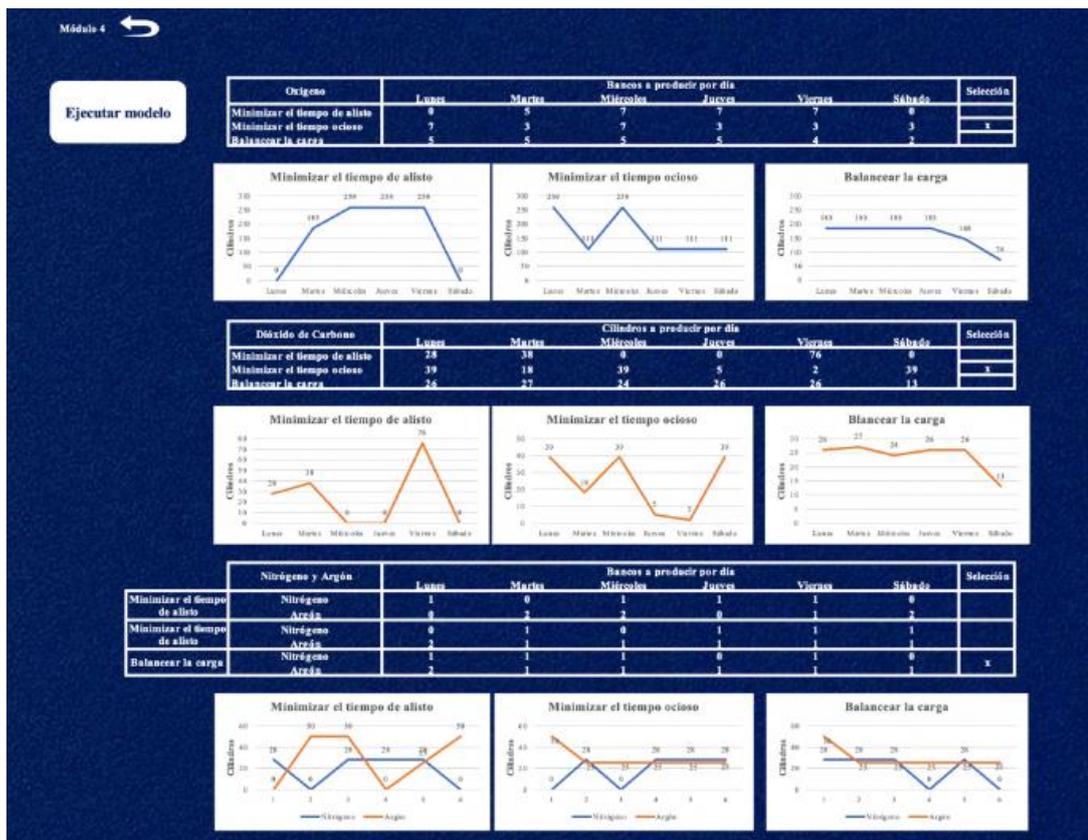
Ajuste por criterio experto

	Ajuste por criterio experto				
	O ₂	CO ₂ (con sifón)	CO ₂ (sin sifón)	N ₂	Ar
m ³	3675,38	484,89	1043,22	546,29	826,00
Bancos / Cilindros	25	44	94	4	6

- c. Para realizar el ajuste por criterio experto, se cambian los metros cúbicos calculados en el plan desagregado de producción, según la experiencia y situación actual del sistema, de modo que pueden aumentar o disminuir la cantidad de metros cúbicos a envasar y el modelo tomará la cantidad a producir una vez se realiza este ajuste.
- d. Al finalizar la verificación de todos los datos de entrada. Se debe volver a la interfaz del Módulo 4 por medio de la flecha de regreso.
- e. En el Módulo 4, para realizar el cálculo de la cantidad óptima a producir se debe hacer click en el botón “Ejecución y selección del modelo”. Este abrirá la siguiente pestaña:

Figura 16.20.

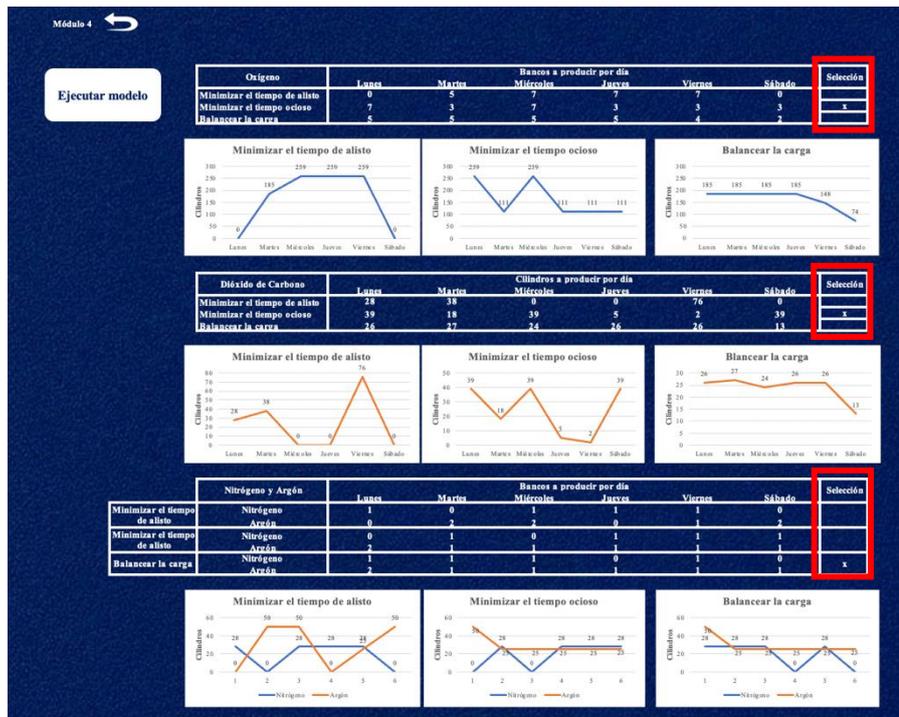
Ejecución del modelo



- f. Para segregar el requerimiento entre los días de la semana se debe seleccionar el botón “Ejecutar modelo”, el cual se encuentra en la parte superior izquierda de la pestaña mostrada anteriormente, este se encargará de plantear todos los escenarios posibles y presentar la solución en esta pestaña.
- g. Se utilizan tres objetivos diferentes para distribuir el requerimiento, por lo que el usuario debe seleccionar con una “x” cuál será la distribución por utilizar para cada uno de los tres centros de trabajo. Esta selección se ejecuta en las siguientes casillas:

Figura 16.21.

Selección de la función objetivo



- h. Se debe verificar que únicamente exista una “x” por cada centro de trabajo, ya que si se seleccionan dos casillas el modelo no logrará comprender cuál de las dos es la selección definitiva. Tal como se muestra a continuación:

Figura 16.22.

Selección correcta de la función objetivo



- i. Al decidir cuál será la distribución por utilizar para cada centro de trabajo se procede a volver a la interfaz del Módulo 4, por medio de la flecha de regreso.

- j. Por último, en el Módulo 4, para conocer la distribución por SKU, se procede a hacer click en el botón “Distribución por SKU”. Este abrirá la siguiente pestaña:

Figura 16.22.

Pestaña de resultados del modelo de optimización

Módulo 4 

	Tiempo requerido (horas)					
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
Oxígeno	5,9	3,1	5,9	3,1	3,1	3,1
Dióxido de carbono	2,6	1,2	2,6	0,4	0,2	2,6
Nitrógeno	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Argón	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

	Cilindros a producir por día					
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
Oxígeno	259	111	259	111	111	111
Dióxido de carbono	39	18	39	5	2	39
Nitrógeno	28	28	28	0	28	0
Argón	50	25	25	25	25	25

	Cilindros a producir por SKU por día					
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
OXI001	113	48	113	48	48	48
OXM001	66	28	66	28	28	28
OXM005	36	16	36	16	16	16
OXM006	28	12	28	12	12	12
Otros de Oxígeno	16	7	16	7	7	7
BIO003 sifón	8	4	8	1	0	8
BIO027 sifón	1	1	1	0	0	1
BIO002	19	9	19	2	1	19
BIO009	4	2	4	0	0	4
Otros de Dióxido de Carbono	7	3	7	1	0	7
NIT001	3	22	22	0	22	0
NIT019	2	2	2	0	2	0
Otros de Nitrógeno	22	22	22	0	22	0
ARG001	49	25	25	25	25	25
Otros de Argón	1	0	0	0	0	0

- k. En esta pestaña se presenta la cantidad de cilindros necesaria para cada tipo de SKU de cada gas, y, además, el tiempo requerido para el llenado por gas. El porcentaje que representa cada SKU es un parámetro del modelo, el cual se puede y debe actualizarse. Al finalizar la revisión de la distribución se procede a volver a la interfaz del Módulo 4 por medio de la flecha de regreso y de ahí al menú principal.

16.5. Módulo 5. Seguimiento y control del desempeño

La Figura 16.23 muestra la visualización previa del módulo 5.

Figura 16.23.

Módulo de seguimiento y control del desempeño



Para el uso de este módulo, se debe de seguir los siguientes pasos.

- a. Para actualizar los datos de los paneles de control, se debe iniciar tocando el botón “Registro de datos”, este abrirá la siguiente pestaña.
- b. En esta pestaña se presenta cada botón con el nombre del dato de entrada a ingresar, por lo que el usuario debe seleccionar alguno acorde al siguiente dato que debe introducir al sistema. Cada botón presenta un formulario diferente, en el cual se debe llenar cada espacio. A continuación, se presentan los espacios a llenar en cada botón y las especificaciones respectivas.

16.5.7. Horas extra

- c. Para el ingreso de la data respectiva a Horas extra, primero se debe agregar el número de la quincena correspondiente, son 24 quincenas, respectivas a los días quince y treinta de cada mes. Por lo que en la casilla de “Quincena” únicamente se debe ingresar valores numéricos dentro de un rango de 1 a 24.
- d. Para ingresar las horas extra se debe realizar con el siguiente formato “0,0”, con valores numéricos separando los decimales con una coma. En caso de escribirlo de la siguiente manera “0.0” el dato ingresado no podrá ser validado.

Figura 16.24.

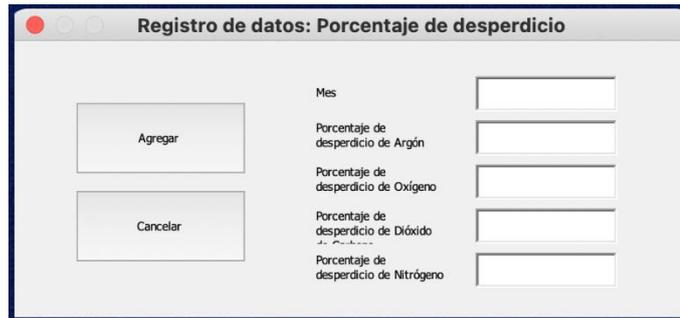
Datos de horas extra

16.5.2. Desperdicios

- e. Para el ingreso de la data respectiva a Desperdicios, se debe agregar el número de mes correspondiente al ingreso, son 12 meses, por lo que en la casilla de “Mes” solo pueden ingresarse valores numéricos enteros dentro de un rango de 1 a 12.
- f. Para ingresar los valores del porcentaje de desperdicio, se debe realizar con el formato “0,0”, con valores numéricos separando los decimales con una coma. En caso de escribirlo de la siguiente manera “0.0” el dato ingresado no podrá ser validado.

Figura 16.25.

Datos de desperdicios



16.5.3. Quejas

- g. Para el ingreso de la data respectiva a Quejas, se debe agregar el número de mes correspondiente al ingreso, son 12 meses, por lo que en la casilla de “Mes” solo pueden ingresarse valores numéricos dentro de un rango de 1 a 12.
- h. En la casilla “Cantidad” se debe ingresar el número del total de quejas que existieron durante el mes, este debe ser un valor número, natural, es decir no contiene decimales. Por lo que se ingresa en el siguiente formato “0” sin comas ni puntos.
- i. La casilla “Descripción” debe completarse con un texto, acá se ingresa una explicación general del motivo de las quejas.

Figura 16.26.

Datos de quejas



16.5.4. Metros cúbicos diarios

- j. En este formulario se debe ingresar la cantidad de metros cúbicos envasados por día para cada uno de los gases. En la casilla “Mes” se debe agregar el número de mes correspondiente al ingreso, son 12 meses, por lo que en la casilla de “Mes” solo pueden ingresarse valores numéricos dentro de un rango de 1 a 12.
- k. Luego, en la casilla “Día” se debe ingresar el número correspondiente al día que se ingresará. Por ejemplo, si se debe registrar el “17 de Julio del 2022”, en la casilla “Mes” se coloca el número 7, correspondiente a Julio, y en la casilla “Número de día” el número 17. Por último, se debe ingresar en cada casilla de los gases la cantidad de metros cúbicos que se envasaron por día, este debe ser con el formato “0,0”, con valores numéricos separando los decimales con

una coma. En caso de escribirlo de la siguiente manera “0.0” el dato ingresado no podrá ser validado.

Figura 16.27.

Datos de metros cúbicos diarios

Registro de datos: Metros cúbicos diarios

Agregar

Cancelar

Día

Mes

Argón

Oxígeno

Dióxido de Carbono

Nitrógeno

16.5.5. Horas de uso de las líneas diario

- l. En este formulario se debe ingresar la cantidad horas utilizadas para cada línea de producción por día, para cada uno de los gases. En la casilla “Mes” se debe agregar el número de mes correspondiente al ingreso, son 12 meses, por lo que en la casilla de “Mes” solo pueden ingresarse valores numéricos dentro de un rango de 1 a 12.
- m. Luego, en la casilla “Día”, únicamente puede ser números enteros dentro de un rango de 1 a 31, correspondientes a los 31 días de un mes.
- n. Por último, se debe ingresar en las casillas correspondientes a los centros de trabajo, la cantidad de horas que se utilizó, este debe ser con el formato “0,0”, con valores numéricos separando los decimales con una coma. En caso de escribirlo de la siguiente manera “0.0” el dato ingresado no podrá ser validado.
- o. Tras registrar los nuevos datos, se procede a regresar al menú principal del Módulo 5. Para verificar las metas de los indicadores se procede a presionar el botón “Actualización de metas”, este abrirá la siguiente pestaña.

Figura 16.28.

Datos de horas de uso

Registro de datos: Horas de uso

Agregar

Cancelar

Día

Mes

Centro de Oxígeno

Centro de Dióxido de Carbono

Centro de Nitrógeno y Argón

16.5.6. Metas

- p. En esta tabla se pueden modificar y variar los datos conforme se necesite de modo que se actualicen las metas de cada indicador respecto al cumplimiento.

Figura 16.29.

Pestaña de metas

Indicador	Meta	Frecuencia
Horas extra	40,05	Quincenal
Quejas	0,00	Mensual
Estandarización	100%	Por fecha de cumplimiento
Merma O2	1,0	Mensual
Merma CO2	2,0	Mensual
Merma N2	2,0	Mensual
Merma Ar	3,0	Mensual

16.5.7. Paneles

- q. Luego de verificar y actualizar las metas, se procede a regresar al menú principal del Módulo 5, a este punto se ha ingresado todos los datos necesarios para el cálculo de los indicadores y la presentación de los paneles de control. Para visualizar los paneles, se debe elegir y presionar entre los botones “Panel de control planta” o el “Panel de control interno”. Una vez se presionan se observan las siguientes pestañas, donde se visualiza la información actualizada de cada panel.

Figura 16.29.

Panel de control interno

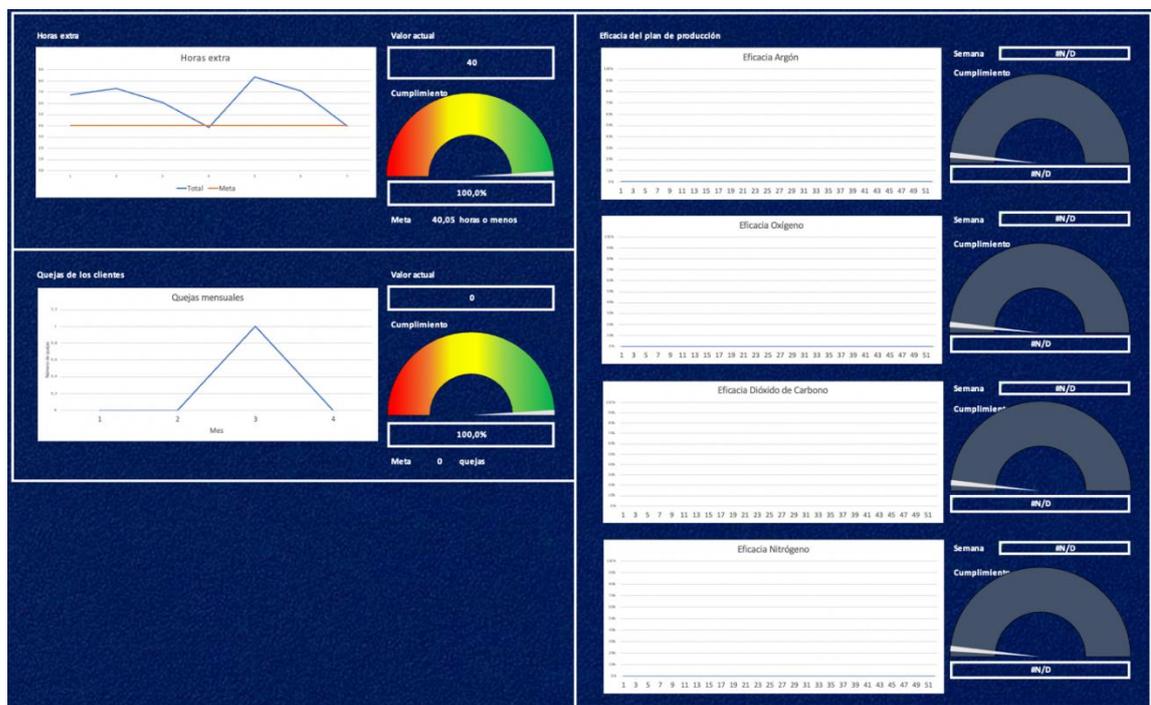


Figura 16.29.

Panel de control de planta



Apéndice 17. Demostración de cálculos para los indicadores

Los indicadores por medir en el modelo Scorecard propuesto son: Horas extra, productividad, quejas mensuales, cantidad de procesos estandarizados, porcentaje de desperdicio, eficiencia, utilización y eficacia.

- **Horas extra**

Horas extra por quincena = \sum Horas extra por día
(45)

Para estimar las extras de manera quincenal se suman las horas adicionales por día, para lo cual, se resta la jornada ordinaria del total de las horas laboradas. Este cálculo se realiza por operario, tal como se presenta a continuación.

Horas extra por día = Total horas laboradas – Horas por jornada diaria
(46)

Horas extra por día = 12 h – 9,5 h = 2,5 horas extra

- **Productividad**

Productividad = $\frac{\text{Metros cúbicos envasados}}{\text{Horas persona empleadas}}$
(47)

Para estimar la productividad, primero se debe calcular las horas persona empleadas, esta se obtiene al sumar las horas trabajadas por quincena con las horas extra. Se presentan los cálculos para la quincena 1 del año 2021.

Horas persona total = Cantidad de operario * Horas laboradas por quincena + Horas extra (48)

$$\text{Horas persona total} = 4 * 88 \text{ h} + 43,1 \text{ h} = 395,1 \text{ h}$$

Al calcular las horas persona totales por quincena, se procede a fraccionar este tiempo, ya que incluye el llenado de mezclas y de aire médico, los cuales son productos que no forman parte de los gases bajo estudio. Para esto, se procede a dividir el requerimiento en metros cúbicos de Ar, N₂, CO₂ y O₂ entre el requerimiento total, luego, se multiplica este porcentaje por las horas persona totales, lo que dará las horas persona empleadas en estos gases. Se presentan los cálculos para la quincena 1 del año 2021.

Horas persona empleadas = $\frac{\text{Requerimiento de Ar, N}_2, \text{CO}_2 \text{ y O}_2}{\text{Requerimiento total}} * \text{Horas persona total}$
(49)

Horas persona empleadas = $\frac{14250 \text{ m}^3}{15365 \text{ m}^3} * 395,1 \text{ h} = 366,4 \text{ h}$

Al tener las horas persona empleadas se procede a calcular la productividad, esta se estima al dividir requerimiento de los gases bajo estudio entre las horas persona empleadas.

Productividad = $\frac{14250 \text{ m}^3}{366,4 \text{ h}} = 38,9 \text{ m}^3/\text{h}$
(50)

16. Quejas mensuales

Quejas mensuales = \sum Quejas por cilindro vacío, por fugas o errores de etiquetado
(51)

Este indicador se estima sumando el número de quejas presentadas en el reporte mensual relacionadas al sistema productivo, se excluyen las quejas relacionadas a servicio y a otros productos no envasados en la organización. A continuación, se presenta el cálculo realizado para el mes de marzo de 2022.

Quejas mensuales marzo 2022 = 1 queja por cilindro vacío.

17. Porcentaje de procesos estandarizados

Porcentaje de procesos estandarizados = $\frac{\text{Procesos estandarizados}}{\text{Cantidad total de procesos}} * 100\%$
(52)

Se estima la proporción que representan los estandarizados de la cantidad total de procesos. A continuación, se muestra el cálculo para el mes de octubre de 2022, el cual tiene un valor de cero debido a que actualmente, ninguno de los cinco procesos productivos se encuentra estandarizado.

Porcentaje de procesos estandarizados a Octubre = $\frac{0}{5} * 100\%$

Este indicador responde a la necesidad de estandarizar los procesos, por lo que se espera alcanzar el 100%. Se pretende medir de manera gradual conforme se capacita y estandariza el método de ejecución de cada uno.

18. Porcentaje de desperdicio mensual

Porcentaje de desperdicio mensual = $\frac{\sum \text{Porcentaje de desperdicio diario}}{\text{Cantidad de llenados}} * 100\%$
(53)

Este indicador se estima de manera mensual y se obtiene calculando el promedio del porcentaje de desperdicio diario de cada gas. La empresa calcula la merma diaria dividiendo el total de kilogramos envasados entre el total consumido en el tanque. Luego, para este indicador se promedia y se obtiene el porcentaje promedio diario para cada mes. A continuación, se presenta el cálculo realizado para argón el mes de enero de 2022.

% de desperdicio Ar enero 2022 = $\frac{(0,72+0,35+1,21+2,25+0,95+3,27+1,12+0,95+0,18+1,31+0,95+1,94)}{12 \text{ llenados}}$

% de desperdicio Ar enero 2022 = 0,9%

19. Utilización de la capacidad

Utilización de la capacidad = $\frac{\text{Horas requeridas}}{\text{Horas disponibles}} * 100 \%$
(54)

Para calcular la utilización, se parte definiendo las horas disponibles. Al tener una jornada de 44 horas semanales, y restar las 15,47 horas de alisto, el tiempo disponible para efectuar el llenado se reduce a 28,78 horas disponibles.

Luego, se procede a calcular las horas requeridas para cada gas, esto se realiza dividiendo el requerimiento en metros cúbicos entre la tasa estándar calculada con base en los tiempos guía. Se presenta el cálculo para la primera semana del año 2021 del Argón.

$$\text{Horas requeridas} = \frac{\text{Requerimiento}}{\text{Tasa estándar}}$$

$$\text{Horas requeridas} = \frac{932 \text{ m}^3}{255,05 \text{ m}^3/\text{h}} = 3,7 \text{ h}$$

Al tener el tiempo requerido por cada gas, se procede a sumarlos para calcular las horas requeridas a la semana. Por último, para estimar la utilización se dividen las horas requeridas semanales, entre las horas disponibles. Se presentan los cálculos para la primera semana de enero de 2021.

$$\text{Utilización de la capacidad} = \frac{23,58 \text{ h}}{28,78 \text{ h}} * 100 \% = 81,9\%$$

20. Eficiencia

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Tasa actual}}{\text{Tasa estándar}} * 100\%$$

(55)

Este indicador se estima dividiendo la tasa actual entre la tasa estándar, para esto, la actual se calcula dividiendo el requerimiento entre las horas reales utilizadas para el llenado de cada gas. Esto puede observarse a continuación para el día martes 02 de setiembre de 2022 para el nitrógeno.

$$\text{Tasa actual} = \frac{\text{Metro cúbicos envasados}}{\text{Horas utilizadas}}$$

$$\text{Tasa actual} = \frac{348,9 \text{ m}^3}{2,5 \text{ h}} = 139,6 \text{ m}^3/\text{h}$$

Al estimar ambas tasas se calcula la eficiencia obtenida, para esto se divide la tasa actual entre la necesaria. Se muestran los cálculos para la primera semana del 2021.

$$\text{Eficiencia} = \frac{139,56 \text{ m}^3/\text{h}}{308,64 \text{ m}^3/\text{h}} * 100\% = 45,2\%$$

21. Eficacia

$$\text{Eficacia} = \frac{\text{Metros cúbicos envasados}}{\text{Metros cúbicos planificados}} * 100\%$$

1(56)

Este indicador mide el porcentaje de cumplimiento obtenido respecto a lo planificado, se estima dividiendo los metros cúbicos envasados entre el plan de producción desagregado para cada día, de modo que se obtiene como resultado el cumplimiento.

Anexos

Anexo 1. Productos de INFRA GI de Costa Rica

Tabla 1.1.

SKU de la organización

Código	Escala	Nombre del producto	Producto
ARG001	unidad	ARGÓN 220 PC	Argón
ARG002	unidad	ARGÓN 110 PC	
ARG003	unidad	ARGÓN 80 PC	
ARG008	unidad	ARGÓN 60 PC	
ARG009	unidad	ARGÓN 300 PC	
ARG011	unidad	ARGÓN 30 PC	
BIO002	unidad	BIÓXIDO DE CARBONO 23 kg	Dióxido de carbono
BIO003	unidad	BIÓXIDO DE CARBONO 23 kg CON SIFON	
BIO004	unidad	BIOXIDO DE CARBONO 45 kg	
BIO006	unidad	BIOXIDO DE CARBONO 7 kg	
BIO007	unidad	BIOXIDO DE CARBONO 4.5 kg	
BIO008	unidad	BIÓXIDO DE CARBONO 6.5 kg	
BIO009	unidad	BIÓXIDO DE CARBONO 9 kg	
BIO010	unidad	BIÓXIDO DE CARBONO 15 kg	
BIO011	unidad	BIÓXIDO DE CARBONO 6 kg	
BIO012	unidad	BIOXIDO DE CARBONO 10 kg	
BIO013	unidad	BIOXIDO DE CARBONO 3 kg	
BIO014	unidad	BIOXIDO DE CARBONO 20 kg	
BIO015	unidad	BIOXIDO DE CARBONO 2 kg	
BIO016	unidad	CO2 DEWAR 180 KG BIOXIDO DE CARBONO	
BIO017	unidad	BIOXIDO DE CARBONO 55.2 kg	
BIO018	unidad	BIOXIDO DE CARBONO 4 kg	
BIO020	unidad	BIOXIDO DE CARBONO 5 kg	
BIO023	unidad	BIOXIDO DE CARBONO DE 1 kg	
BIO025	unidad	BIOXIDO DE CARBONO DE 2.3 kg	
BIO026	unidad	BIOXIDO DE CARBONO 30 kg	
BIO027	unidad	BIOXIDO DE CARBONO SIFON 30 kg	
BIO028	unidad	DIOXIDO DE CARBONO DE 25 kg	
EXT001	unidad	EXTINTOR 2.3 kg BIOXIDO DE CARBONO	
EXT002	unidad	EXTINTOR 4 kg BIOXIDO DE CARBONO	
EXT003	unidad	EXTINTOR 4.5 kg BIOXIDO DE CARBONO	
EXT004	unidad	EXTINTOR 5 kg BIOXIDO DE CARBONO	
EXT005	unidad	EXTINTOR 6 kg BIOXIDO DE CARBONO	
EXT006	unidad	EXTINTOR 7 kg BIOXIDO DE CARBONO	
EXT007	unidad	EXTINTOR 9 kg BIOXIDO DE CARBONO	
EXT008	unidad	EXTINTOR 8 kg BIOXIDO DE CARBONO	
EXT009	unidad	EXTINTOR 2 kg BIOXIDO DE CARBONO	
EXT012	unidad	EXTINTOR 3 kg BIOXIDO DE CARBONO	
NIT001	unidad	NITROGENO 220 PC	
NIT002	unidad	NITROGENO 110 PC	
NIT003	unidad	NITROGENO 80 PC	
NIT004	unidad	NITROGENO 60 PC	

Tabla 1.1.

SKU de la organización (continuación)

Código	Escala	Nombre del producto	Producto
NIT005	unidad	NITROGENO 20 PC	Nitrógeno
NIT012	unidad	NITROGENO 30 PC	
NIT019	unidad	NITROGENO INDUSTRIAL 40 PC	
OXI001	unidad	OXIGENO INDUSTRIAL 220 PC	Oxígeno
OXI002	unidad	OXIGENO INDUSTRIAL 165 PC	
OXI003	unidad	OXIGENO INDUSTRIAL 110 PC	
OXI004	unidad	OXIGENO INDUSTRIAL 80 PC	
OXI005	unidad	OXIGENO INDUSTRIAL 60 PC	
OXI006	unidad	OXIGENO INDUSTRIAL 30 PC PIN	
OXI009	unidad	OXIGENO INDUSTRIAL 30 PC ROSCA	
OXI010	unidad	OXIGENO INDUSTRIAL 20 PC ROSCA	
OXI011	unidad	OXIGENO DEWAR INDUSTRIAL CON CARRETA	
OXM001	unidad	OXIGENO MEDICO 220 PC	
OXM002	unidad	OXIGENO MEDICO 110 PC	
OXM003	unidad	OXIGENO MEDICO 80 PC	
OXM004	unidad	OXIGENO MEDICO 60 PC	
OXM005	unidad	OXYGEN DE 30 PC OXIGENO MEDICO	
OXM006	unidad	OXIGENO MEDICO 30 PC PIN	
OXM007	unidad	OXIGENO MEDICO 30 PC ROSCA	
OXM008	unidad	OXIGENO MEDICO 20 PC PIN	
OXM009	unidad	OXIGENO MEDICO 20 PC ROSCA	
OXM010	unidad	OXIGENO MEDICO-CL50	

Anexo 2. Simbología ISO 9000**Tabla 2.1.**

Simbología ISO 9000

Símbolo	Significado	¿Para que se utiliza?
	Operación	Indica las principales fases del proceso, método o procedimiento.
	Operación e Inspección	Indica la verificación o supervisión durante las fases del proceso, método o procedimiento de sus componentes.
	Inspección y Medición	Representa el hecho de verificar la naturaleza, cantidad y calidad de los insumos y productos.
	Transporte	Indica cada vez que un documento se mueve o traslada a otra oficina y/o funcionario.
	Entrada de bienes	Indica productos o materiales que ingresan al proceso.
	Almacenamiento	Indica el depósito permanente de un documento o información dentro de un archivo.