

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

Helados en Todos Lados: Diseño y Caracterización de una Instalación Para La Industrialización del Proceso Artesanal del Helado.

Daniela Sofía García Rubio

Ariana Daniela Pozo Ortega

Fausto Gabriel Yépez Nájera

Ingeniería Industrial

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito
para la obtención del título de
INGENIERO INDUSTRIAL

Quito, 20 de diciembre de 2022

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

HOJA DE CALIFICACIÓN DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA

**Helados en Todos Lados: Diseño y Caracterización de una Instalación Para
La Industrialización del Proceso Artesanal del Helado.**

Daniela Sofía García Rubio

Ariana Pozo Ortega

Fausto Gabriel Yépez Nájera

Nombre del profesor, Título académico

Sonia Valeria Avilés, Sacoto, D.Sc.

Quito, 20 de diciembre de 2022

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior.

Nombres y apellidos: Daniela Sofía García Rubio

Código: 00206916

Cédula de identidad: 1722978101

Nombres y apellidos: Ariana Pozo Ortega

Código: 00207107

Cédula de identidad: 1718247800

Nombres y apellidos: Fausto Gabriel Yépez Nájera

Código: 00136265

Cédula de identidad: 1720941580

Lugar y fecha: Quito, 20 de diciembre de 2022

ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

Nota: El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETHeses>.

UNPUBLISHED DOCUMENT

Note: The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETHeses>.

RESUMEN

Se estima que de 2021 a 2026, el mercado de helados artesanales crecerá \$4,740 millones con una tasa de crecimiento anual de 4,96% (Technavio, 2021) este crecimiento se da en respuesta a la demanda de productos naturales con más beneficios nutricionales, para lo cual es necesario la innovación en la forma de producir helados con sabores únicos, esto con el fin de suplir la demanda en un mercado tan competitivo como el de los postres. La microempresa de helados Montvelo, busca expandirse para suplir la demanda futura e innovar con su esencia artesanal a un nivel de producción industrial. La estrategia propuesta es el diseño de una nueva instalación y un rediseño del proceso actual que mantiene la base artesanal. La capacidad de la instalación se estableció a través de una red de sucursales, desarrollada con un modelo matemático cuyos parámetros se determinaron con bibliotecas de geolocalización de Python y el modelo de difusión de Bass para pronosticar cuando no se dispuso de datos históricos. El plan final de la instalación incluye el diseño desarrollado a través de la programación de enteros mixtos y características de la instalación evaluadas con una simulación. El resultado es un plan listo para ser implementado y una base con parámetros modificables para su aplicación en otras industrias.

Palabras clave: Diseño de instalaciones, optimización de layout, programación entera mixta, modelo de difusión Bass, simulación.

ABSTRACT

It is estimated that from 2021 to 2026, the artisanal ice cream market will grow by \$4.74 billion at a 4.96% annual rate (Technavio, 2021). This growth occurs in response to the demand for natural products with more nutritional benefits, for which is necessary innovation in the way of producing ice cream with unique flavors, to meet the demand in a market as competitive as that of desserts. The ice cream microenterprise Montvelo, seeks to expand in order to meet future demand and innovate with its artisanal essence at an industrial production level. The proposed strategy is the design of a new facility and a redesign of the current process that keeps the artisanal base. Facility's capacity was set through a potential network of branches, developed with a mathematical model whose parameters were determined with Python geolocation libraries and the Bass diffusion model for forecast when historical data was not available. Final facility plan includes the layout developed through Mixed Integer Programming and facility characteristics evaluated through a simulation. The result is a plan ready to be implemented by Montvelo and a base with easily alterable parameters for application in other industries.

Keywords: Facilities design, layout optimization, mixed integer programming, Bass diffusion model, simulation.

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|---|-----------|
| INTRODUCCIÓN | 12 |
| DESARROLLO DEL TEMA | 14 |
| Revisión literaria | 14 |
| Problema de diseño de instalaciones – FLP | 14 |
| Sistema de manejo de materiales | 15 |
| Manipulación de alimentos | 16 |
| Metodología | 17 |
| Definir o redefinir los objetivos de la instalación. | 17 |
| Especificar los apoyos primarios y las actividades que deben desarrollarse para cumplir con el objetivo. | 18 |
| Determinar las interrelaciones entre todas las actividades. | 19 |
| Evaluar los requisitos de espacio de todas las actividades. | 20 |
| Generar alternativas sobre los planes de diseño. | 20 |
| Evaluar las alternativas del plan de instalaciones. | 21 |
| Resultados | 22 |
| Estudio de caso: Montvelo, Heladería Artesanal. | 22 |
| Infraestructura..... | 23 |
| Elección de la ubicación de la instalación | 24 |
| Método de promedio de puntos ponderados | 25 |
| Selección de puntos de venta..... | 25 |
| Determinación óptima del área | 26 |
| Demanda | 26 |
| Distancia de la instalación | 28 |
| Costos..... | 29 |
| Modelo matemático | 29 |
| Determinación y especificaciones del producto | 31 |
| Secuenciación de procesos | 31 |
| Salida de producto | 32 |
| Diseño de horarios | 33 |
| Requisitos del proceso | 34 |
| Maquinaria y equipo | 34 |
| Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control (HACCP)..... | 34 |
| Tipo de producción | 34 |
| Matriz de priorización | 35 |

| | |
|---|-----------|
| Planificación de departamentos | 36 |
| Relación entre actividades | 37 |
| Flujo cualitativo | 37 |
| Flujo cuantitativo | 37 |
| Determinación del espacio..... | 38 |
| Sistema de manejo de materiales..... | 39 |
| Enfoque de programación entera mixta..... | 40 |
| Enfoque de algoritmos..... | 44 |
| <i>Método gráfico</i> | 44 |
| <i>Método LOGIC</i> | 45 |
| Evaluación de alternativas | 45 |
| Puntuación de adyacencia | 45 |
| Simulación | 46 |
| Selección de un plan de instalación..... | 48 |
| Análisis económico..... | 48 |
| CONCLUSIONES, LIMITACIONES Y RECOMENDACIONES | 50 |
| ANEXO 1: FACTORES APLICADOS EN EL MÉTODO DE LA MEDIA EN PUNTOS PONDERADOS..... | 55 |
| ANEXO 2: MÉTODO DE LA MEDIA DE PUNTOS PONDERADOS PARA LA POSIBLE INSTALACIÓN | 56 |
| ANEXO 3: MAPA DEL ÁREA DEL DISTRITO NORTE-VALLES DE EUGENIO ESPEJO Y QUITO | 57 |
| ANEXO 4: POBLACIÓN OBJETIVO DE POSIBLES PUNTOS DE VENTA | 58 |
| ANEXO 5: DEMANDA MÁXIMA MENSUAL DE PUNTOS DE VENTA POTENCIALES..... | 59 |
| ANEXO 6: LATITUD Y LONGITUD DE LOS PUNTOS DE VENTA..... | 60 |
| ANEXO 7: DISTANCIA EN METROS DE CADA PUNTO DE VENTA..... | 61 |
| ANEXO 8: COSTO POR KILÓMETRO PARA CADA PUNTO DE VENTA..... | 62 |
| ANEXO 9: COSTO POR KILÓMETRO PARA CADA PUNTO DE VENTA..... | 63 |
| ANEXO 10: BENCHMARKING DE HELADERÍAS EN QUITO | 64 |
| ANEXO 11: ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD..... | 65 |
| ANEXO 12: RESOLUCIÓN OBTENIDA EN AMPL DE LOS PUNTOS DE VENTA SELECCIONADOS..... | 66 |
| ANEXO 13: DISEÑO DE LA RED LOGÍSTICA | 67 |
| ANEXO 14: SABORES DE HELADO DE LA HELADERÍA ARTESANAL MONTVELO..... | 68 |

| | |
|---|-----------|
| ANEXO 15: MATERIAS PRIMAS PARA HELADOS BASADAS EN SU CATEGORÍA Y ESPECIFICACIÓN. | 69 |
| ANEXO 16: PROCESO DE PRODUCCIÓN ACTUAL DE MONTVELO. | 71 |
| ANEXO 17: EQUIPO Y UTENSILIOS UTILIZADOS EN LAS INSTALACIONES ACTUALES DE MONTVELO. | 72 |
| ANEXO 18: EQUIPO Y UTENSILIOS NECESARIOS PARA LA NUEVA INSTALACIÓN DE PRODUCCIÓN ARTESANAL DE HELADOS. | 73 |
| ANEXO 19: EQUIVALENCIA DE PRODUCTOS A BASE DE HELADOS EN BOLAS Y LITROS DE HELADO. | 74 |
| ANEXO 20: PREVISIÓN DE DEMANDA POR PUNTO DE VENTA. | 75 |
| ANEXO 21: MATERIALES Y MÁQUINAS UTILIZADAS EN EL DISEÑO DE LA NUEVA INSTALACIÓN. | 76 |
| ANEXO 22: ANÁLISIS HACCP SOBRE EL PROCESO DEL HELADO ARTESANAL. | 77 |
| ANEXO 23: MATRIZ DE PRIORIZACIÓN. | 79 |
| ANEXO 24: DIAGRAMA CUALITATIVO DE RELACIONES DE FLUJO. | 80 |
| ANEXO 25: FLUJO CUANTITATIVO DESDE EL GRÁFICO HASTA EL GRÁFICO. | 81 |
| ANEXO 26: FLUJO CUANTITATIVO DESDE EL GRÁFICO HASTA EL GRÁFICO. | 82 |
| ANEXO 27: ECUACIÓN DE MANIPULACIÓN DE MATERIALES. | 83 |
| ANEXO 28: ECUACIÓN DE MANEJO DE MATERIALES A TRAVÉS DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE MONTVELO EN LA NUEVA INSTALACIÓN. . | 84 |
| ANEXO 29: RESULTADOS AMPL DE LAS COORDENADAS DE LOS CENTROIDES PARA CADA DEPARTAMENTO. | 85 |
| ANEXO 30: LAYOUT MIP. | 86 |
| ANEXO 31: PROCEDIMIENTO MÉTODO GRÁFICO. | 87 |
| ANEXO 32: LAYOUT MÉTODO GRÁFICO. | 88 |
| ANEXO 33: MÉTODO LOGIC. | 89 |
| ANEXO 34: LAYOUT MÉTODO LOGIC. | 90 |
| ANEXO 35: MÉTODO MIP DE MATRIZ DE ADYACENCIA | 91 |
| ANEXO 36: MÉTODO DE GRÁFICO DE MATRIZ DE ADYACENCIA | 92 |
| ANEXO 37: MÉTODO LOGIC DE MATRIZ DE ADYACENCIA | 93 |
| ANEXO 38: MIP DISTANCE DASHBOARD MODELO FLEXSIM. | 94 |
| ANEXO 39: TABLERO DE DISTANCIA GRÁFICA MODELO FLEXSIM. | 95 |
| ANEXO 40: LOGIC DISTANCE DASHBOARD MODELO FLEXSIM. | 96 |
| ANEXO 41: DISTANCIA EN KM DE LOS TRES ESQUEMAS PROPUESTOS. | 97 |

| | |
|---|------------|
| ANEXO 42: DISEÑO FINAL SELECCIONADO EN FLEXSIM..... | 98 |
| ANEXO 43: UTILIZACIÓN MÁQUINAS. | 99 |
| ANEXO 44: DISEÑO FUTURO DE LA INSTALACIÓN HELADERA. | 100 |
| ANEXO 45: COSTOS FIJOS | 101 |
| ANEXO 46: COSTOS VARIABLES DEL HELADO A BASE DE AGUA. | 102 |
| ANEXO 47: HELADO DE COSTO VARIABLE A BASE DE LECHE..... | 103 |
| ANEXO 48: INVERSIÓN INICIAL. | 104 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | | |
|----------|---|----|
| Tabla 1. | Métodos de diseño de layout | 15 |
| Tabla 2. | Alcance del sistema de manejo de materiales | 15 |
| Tabla 3. | Alcance de la manipulación de alimentos | 16 |
| Tabla 4. | Opciones de instalaciones a evaluar | 24 |

INTRODUCCIÓN

Como resultado de un retorno progresivo a la normalidad, el impacto del COVID-19 se ha hecho evidente, no solo en el estilo de vida de las personas, sino también en las industrias. A pesar del largo período de pérdidas que afectó a muchas industrias durante la pandemia, el consumo de ciertos alimentos ha aumentado, es el caso de la comida rápida y los postres. El mercado de postres ha mostrado un crecimiento considerable en sus ventas, donde el helado es uno de los productos que generan mayor ganancia económica. Según Fortune Business Insights (2022), durante el año 2021 el mercado de helados se valoró en 71.52 mil millones de dólares, y para 2022 se estima que valdrá 73.61 mil millones de dólares. De igual manera se ha pronosticado que para 2029 se valorará en 104.96 mil millones, lo que equivale a un crecimiento del 5.20% de la tasa de crecimiento anual compuesta (CAGR) (Fortune Business Insights, 2022). Hoy en día, los consumidores buscan que la composición principal de un helado sea con ingredientes naturales que cuenten con beneficios nutricionales, características que se encuentran en los helados artesanales (Fortune Business Insights, 2022).

Con el tiempo, es clave mencionar que el mercado de producción de postres se ha vuelto más competitivo, donde su plan estratégico se basa en fortalecer su oferta y su capacidad para satisfacer la demanda, invirtiendo en el desarrollo de sus instalaciones productivas (Borges Viera et al., 2011). La correcta optimización del espacio trae como beneficio un eficiente flujo del material donde se va a ver reflejado en actividades estandarizadas, reducción de movimientos innecesarios y asignación del espacio correcto para cada área involucrada en el proceso de producción (Ali Naqvi et al., 2016).

El manejo de materiales nos permite crear utilidad a lo largo del tiempo, por medio del almacenamiento y control del material. Se sabe que, en una industria típica, la manipulación de materiales representa el 24% de todos los empleados, el 55% del espacio, el 87% del tiempo

de producción y ocupa entre el 15 y el 70% del costo del producto (Ahmed et al., 2017), por lo que su correcta aplicación es relevante.

Además, la clave del éxito de un buen helado está dado por un proceso eficiente, capaz de adaptarse a su consumidor por medio de sus sabores naturales. Con estas consideraciones, la producción de la industria heladera ha implementado un proceso de diseño de instalaciones bien establecido, por lo que cada área involucrada en el proceso de elaboración de helados tiene suficiente espacio y está conectada con la siguiente actividad minimizando el movimiento y uso de espacios innecesarios (DiFonzo & Bordia, 2017).

Se estima que de 2021 a 2026, el mercado de helados artesanales crecerá en un valor de 4.74 mil millones de dólares y un CAGR de 4.96% (Technavio, 2021). En Ecuador, la heladería artesanal, Montvelo, busca innovar la forma en que producen sus helados con sabores naturales y experiencias únicas, manteniendo su calidad artesanal. Montvelo puede satisfacer la demanda actual de sus consumidores, sin embargo, debe considerar que la instalación actual no puede satisfacer la demanda futura debido al aumento del interés por el helado artesanal de las personas, por lo que quiere incrementar su producción. Se propone que Montvelo rediseñe su instalación y proceso de la producción de helado artesanal en donde sus instalaciones, materiales y máquinas serán adecuadas. Esta situación será la analizada en este estudio.

El artículo está organizado de la siguiente manera: La Sección 1 detalla la creación de una red logística, donde se determina la ubicación de la instalación y los puntos de venta necesarios. La Sección 2 describe el diseño de las instalaciones, la planeación de departamentos y las todas consideraciones del proceso de preparación. Se hace uso de la revisión de la literatura con la definición del problema del diseño de las instalaciones, el manejo de materiales y el manejo de alimentos para este estudio. Así como el uso de la planificación estratégica de instalaciones propuesta por (Tompkins, et al., 2010).

DESARROLLO DEL TEMA

Revisión literaria

La planificación de instalaciones consiste en determinar cómo los recursos de una empresa pueden apoyar en cumplir sus objetivos comerciales. En un sentido real, la planificación de instalaciones es en sí misma un proceso estratégico y debe ser una parte integral de la estrategia corporativa general (Tompkins, et al., 2010). Se divide en términos de ubicación de las instalaciones, diseño de las instalaciones y diseño del layout, cada una de las cuales tiene componentes que colaboran para lograr la mejora continua en búsqueda de la excelencia de la cadena de suministro. Los conceptos relevantes para la planificación de instalaciones se discuten a continuación.

Problema de diseño de instalaciones – FLP

La correcta definición del número y tipo de departamentos, ambos constituyen el primer paso que se debe llevar a cabo para definir la distribución dentro de la instalación, así como la relación que existe entre cada departamento. Sin embargo, existen diferentes enfoques mediante los cuales se puede proponer una solución (Tompkins et al., 2010).

Los procedimientos para desarrollar alternativas de distribución pueden clasificarse en dos categorías: mejora y construcción, dependiendo de si el objetivo es construir una nueva instalación desde cero o si el objetivo es mejorar un diseño existente en una instalación. FLP se vuelve más complejo cuando se consideran restricciones de espacio (como pasillos), por lo tanto, muchos autores consideran un espacio rectangular regular sin restricciones donde los diseños inviables no son un problema. (McKendall y Hakobyan, 2021).

Una vez que se conoce el tipo de departamentos, restricciones y área de la instalación, se desarrollan diferentes algoritmos y modelos matemáticos para el diseño del layout. Actualmente, los autores difieren sobre qué método usar. Se presenta la siguiente discusión:

Tabla 1. Métodos de diseño de layout

| Título | Autor | Discusión |
|--|--|---|
| Métodos y herramientas de optimización de diseño: una revisión sistemática de la literatura. | Stelle Chemim et al. (2021) | El método principal para organizar la distribución en una instalación es la planificación sistemática del diseño (SLP). Combina herramientas relacionadas con el proceso, los productos y los aspectos ergonómicos del sistema de producción. |
| Planificación de instalaciones, 4 ^a ed. | Tompkins J.A., et al. (2010) | Existen métodos relacionados con el SLP que podrían ser utilizados para el diseño de diseños de bloques como CRAFT, Pairwise Exchange Method, Graphic Method, BLOCPLAN, entre otros. |
| Optimización del diseño de celdas de trabajo para la fabricación de dispositivos médicos híbridos. | Ho, N., Ngooi, S.D & Chui, C.K. (2019) | La aplicación de métodos de optimización convencionales (como CRAFT y BLOCPLAN) no solo se ha vuelto más compleja, sino también inexacta y poco confiable, lo que disminuye la calidad que podría lograrse utilizando un método más avanzado. |
| Optimización multiobjetivo de la planta de una instalación unifamiliar de una sola planta teniendo en cuenta la posición y la orientación. | Zawidzki, M.; Szklarski, J. (2020) | Los métodos matemáticos más rigurosos para mejorar el diseño arquitectónico se han vuelto populares hoy en día. Estos intentan dar como resultado una técnica más precisa, optimizada y efectiva. Entre ellos, destacan los modelos de métodos heurísticos como algoritmos genéticos, arrecifes de coral, colonias de hormigas y otras estrategias de búsqueda local. |
| Métodos y herramientas de optimización de diseño: una revisión sistemática de la literatura. | Stelle Chemim, L., Christine Sotsek, N., y Kleina, M. (2021) | Métodos como la búsqueda Tabu, el algoritmo de genética de clave aleatoria sesgada y la programación lineal entera mixta, también se utilizan para definir el entorno de fabricación. |

Sistema de manejo de materiales

El sistema de manejo de materiales es una herramienta muy importante para el diseño de instalaciones, le permite comprender cómo fluye el material y proponer un mejor diseño de los departamentos involucrados en la instalación (Tompkins et al., 2010).

Tabla 2. Alcance del sistema de manejo de materiales

| Título | Autor | Discusión |
|---------------|--------------|------------------|
|---------------|--------------|------------------|

| | | |
|---|------------------------|---|
| Un marco para la selección de equipos de manejo de materiales en instalaciones de fabricación y logística. | Hassan. (2014) | Sin una investigación y diseño adecuados de los sistemas MM, todo lo que abarca las operaciones de fabricación puede provocar retrasos, mayores tiempos de producción, incluso daños y contaminación del producto. |
| Optimización del sistema de manejo de materiales a través de la selección de equipos de manejo de materiales. | Zubair et al. (2019) | Los objetivos propuestos por una empresa manufacturera es elegir un sistema de manejo de materiales eficiente y efectivo que permita una mejor distribución de la mano de obra, reducción de costos, mayor rentabilidad y productividad de la planta. Considerar este sistema de manejo de materiales en una planta puede reducir sus costos operativos entre 15-35%. |
| Planificación de instalaciones, 4 ^a ed. Wiley, Nueva Jersey. | Tompkins et al. (2010) | El sistema de manejo de materiales se observa en las actividades diarias, proporciona la cantidad, condición, lugar, posición, secuencia y costos correctos de los materiales. |

Del mismo modo, Tompkins et al. (2010) proponen 9 pasos para los problemas de planificación de instalaciones que involucran el manejo de materiales: 1. Definir o redefinir los objetivos de la instalación. 2. Especificar los apoyos primarios y las actividades que deben desarrollarse para cumplir con el objetivo. 3. Determinar las interrelaciones entre todas las actividades. 4. Evaluar los requisitos de espacio de todas las actividades. 5. Generar alternativas sobre los planes de diseño. 6. Evaluar las alternativas del plan de instalaciones. 7. Seleccionar un plan de diseño. 8. Implementar ese plan de diseño y 9. Mantener y adaptar ese plan de diseño.

Manipulación de alimentos

Se pueden implementar sistemas de seguridad y control de alimentos con acciones de control de peligros críticos para garantizar buenas prácticas de fabricación, higiene y calidad en la producción (Lu et al., 2014).

Tabla 3. Alcance de la manipulación de alimentos

| Título | Autor | Discusión |
|---|---------------------------------|--|
| La inocuidad de los alimentos y su contribución a la seguridad alimentaria. | Fragoso-Castilla et al. (2020). | Una empresa debe garantizar buenas prácticas de seguridad basadas en el conocimiento de los requisitos establecidos para garantizar la seguridad alimentaria. |
| Seguridad y calidad: requisitos esenciales para la protección de la salud de los consumidores. | Arispe & Tapia (2007). | El efecto adverso de no incorporar técnicas de seguridad en las fábricas trae consecuencias económicas para el cliente. |
| Incorporación del Sistema de Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control en la legislación alimentaria. | Castellanos R. et al. (2004). | La aplicación del sistema HACCP es una herramienta eficaz en términos de métodos tradicionales que normalmente se utilizan para la inspección de alimentos. |
| Justificación e importancia del Sistema HACCP. | OPS (2021). | El sistema HACCP tiene una base científica, es sistemático y garantizará la seguridad alimentaria. Del mismo modo, optimizará las inspecciones del producto final. |

Metodología

El proceso de planificación de instalaciones es una herramienta clave cuando se tiene incertidumbre sobre cómo planificar el diseño de una nueva instalación. Se puede abordar de forma sistemática adaptando este ciclo de vida al proceso de diseño de ingeniería, lo que da como resultado la metodología aplicada: Strategic Facilities Planning.

Las siguientes secciones describen la metodología utilizada para este estudio. Sin embargo, el alcance de este estudio incluye los pasos 1 a 7.

Definir o redefinir los objetivos de la instalación.

Durante el diseño o la mejora de una nueva instalación, es esencial determinar la organización más eficiente de las áreas del departamento y el equipo que se utilizará. Para lograrlo, es importante establecer los objetivos de la instalación, que pueden apoyarse respondiendo a algunas preguntas (Tompkins et al., 2010): ¿Quién se beneficia del diseño de

la nueva instalación?, ¿Cuál es el propósito del diseño? Y ¿Cómo se va a lograr el diseño de la nueva instalación?

Para ejecutar el diseño de una nueva instalación, debe haber una correcta comunicación de ideas entre el propietario y el equipo que trabaja en el proyecto. Las cuales ayudan determinar la orientación adecuada del diseño y no omitir detalles importantes como los elementos con los que se va a trabajar, el proceso de producción y el movimiento correcto de una actividad a otra (Tompkins et al., 2010).

Después de definir información importante para construir un diseño adecuado, es crucial establecer resoluciones más detalladas sobre los enfoques para encontrar un arreglo eficiente que pueda ser (Tompkins et al., 2010): 1. Uso efectivo de personas, equipos, espacio y energía. 2. Sea adaptable y promueva la facilidad de mantenimiento. 3. Minimice el costo de manejo de materiales entre departamentos y maximice la distancia a través de cada departamento.

De igual manera se debe establecer un diseño adecuado del producto a fabricar, las actividades primarias de apoyo que se llevarán a cabo en la instalación y expresarlas en términos cuantitativos. Esto incluye la definición del volumen y el papel de la instalación en la cadena de suministro (Stevenson, 2015).

Especificar los apoyos primarios y las actividades que deben desarrollarse para cumplir con el objetivo.

Para el desarrollo de una instalación industrial, es necesario hacer consideraciones previas que servirán de base para las siguientes decisiones o estrategias a realizar. Por lo tanto, Tompkins et al (2010) sugieren que, para diseñar una instalación, es necesario tener tres puntos clave de información: volumen a producir, traslado y demandas de futura.

Teniendo en cuenta estas consideraciones sobre la implantación y desarrollo de una instalación, es necesario definir previamente un lugar donde ubicaremos la nueva instalación. Carro & González (2000) recomiendan el uso del método de ponderación de factores, ya que se identificarán los factores principales y se les asignará un peso de importancia, para calificar y encontrar la ubicación candidata. Carro & González (2000) destacan la importancia de designar entre cinco y quince candidatos que tiene los siguientes puntos de estudio: identificar los factores clave, determinar sitios específicos, estudiar sus factores cuantitativos y, finalmente, evaluar sus factores cualitativos.

De la misma manera, es importante determinar la demanda de la fábrica. Duarte et al (2005) aseguran que la implementación de modelos matemáticos es útil para evaluar una serie de diseño propuestos.

Determinar las interrelaciones entre todas las actividades.

Uno de los elementos más importantes en el diseño de los departamentos dentro de una instalación es medir las actividades entre los departamentos (Tompkins et al., 2010). Según el autor, en esta etapa se establece si las actividades interactúan o se apoyan mutuamente dentro de los límites de la instalación y cómo lo hacen, y cómo se llevará a cabo.

Las actividades y relaciones pueden especificarse como cuantitativas o cualitativas, dependiendo del tipo de flujo entre departamentos, tales como: materiales, información, personas y comunicación. A menudo, las instalaciones necesitarán medidas cuantitativas y cualitativas del flujo, y ambas deben ser utilizadas.

Por un lado, la medición cuantitativa del flujo considera el flujo en términos de cantidad movida de un departamento a otro (Tompkins et al., 2010). El gráfico desde – hacia es el método más utilizado para registrar flujos. Este gráfico consiste en una matriz donde los

departamentos se enumeran en la primera columna (de) y en la primera fila (hasta) y en las otras celdas, el flujo se escribe en una unidad común, por ejemplo, cantidad de material.

Mientras que la medición cualitativa del flujo utiliza los valores de relación de cercanía, que se establecen de acuerdo con los valores desarrollados por Muther (Tompkins, et al., 2010) estos valores son: A-Absolutamente necesario, E-Especialmente importante, I-Importante, O-Ordinario, cercanía buena, U-No Importante y X-Indeseable.

Evaluar los requisitos de espacio de todas las actividades.

Es necesario evaluar tres aspectos al considerar los requisitos de espacio (Tompkins et al., 2010): Equipo, Material y Personal.

Los requisitos de espacio siempre deben construirse desde cero, especialmente en entornos de fabricación, también deben considerarse a partir de estaciones de trabajo individuales y, después de eso, requisitos departamentales (Tompkins et al., 2010).

Las especificaciones de la estación de trabajo incluyen el equipo, el recorrido de la máquina, el mantenimiento de la máquina, los servicios de planta y el área de piso para cada estación de trabajo (Tompkins et al., 2010).

Después de definir las estaciones de trabajo individuales, se pueden establecer los requisitos para cada departamento (Tompkins et al., 2010).

Generar alternativas sobre los planes de diseño.

El plan de instalaciones alternativas, según Tompkins et al. (2010), incluirá tanto ubicaciones alternativas de instalaciones como diseños alternativos para la instalación. Las alternativas de diseño de las instalaciones incluirán diseños alternativos, estructurales y de sistemas de manejo de materiales (Tompkins et al., 2010).

Para los problemas de ubicación de las instalaciones, hay una serie de modelos analíticos para desarrollar nuevos conocimientos sobre las ubicaciones óptimas para una o más instalaciones. El enfoque analítico de los modelos matemáticos depende del número de instalaciones a colocar, y esto las clasifica en problemas de ubicación de una sola instalación y problemas de ubicación de múltiples instalaciones. Además, cuando el problema de ubicación de la instalación se basa en la distancia entre instalaciones, se utilizan cuatro medidas: distancia rectilínea, distancia en línea recta, distancia de Chebyshev (donde la distancia entre dos puntos es la mayor de la distancia vertical y horizontal recorrida, esto en un espacio bidimensional) y, por último, la distancia real (Tompkins et al., 2010).

Cuando se trata de cubrir problemas, estos son problemas de ubicación de espacio discreto. Consisten en determinar el número mínimo de nuevas instalaciones necesarias para cubrir un área determinada, o el número especificado de nuevas instalaciones para maximizar el número de instalaciones existentes cubiertas por un número específico de nuevas instalaciones.

Evaluar las alternativas del plan de instalaciones.

Cuando se dispone de diferentes alternativas de diseño para evaluar, es importante considerar los requisitos cualitativos o los criterios establecidos al comienzo de la fase de diseño, donde se va a determinar cuál es la mejor opción.

Hay algunas técnicas que pueden ser útiles al evaluar instalaciones alternativas (Tompkins et al., 2010): 1. Enumerar los aspectos positivos y negativos de las alternativas, 2. Clasificar el rendimiento de cada alternativa, junto con los diversos criterios enumerados, 3. Realizar una comparación factorial ponderada de las alternativas, asignando un peso a cada criterio, 4. Determinar el desempeño económico de cada alternativa, 5. A través de algoritmos matemáticos de distancia de cercanía y 6. Seleccionar un plan de diseño.

El último paso es la selección de la instalación final. En este paso, se busca satisfacer de manera óptima los requerimientos propuestos por el consumidor considerando un óptimo funcionamiento general, integración entre departamentos y correcto costo beneficio. (Tompkins et al 2010).

En este paso es importante analizar el desempeño de la instalación, sin embargo, se debe considerar para este estudio que, debido a la falta de tiempo y alto costo, no se puede implementar en tiempo real. Sin embargo, a través de la simulación podemos entender cómo funciona un proceso sin tener que implementarlo en la instalación real.

Mejía Avila & Galofre Vásquez (2008) comentan la importancia de aplicar la simulación para el desarrollo y visualización del sistema. También se menciona ventajas como la representación detallada y una gran comprensión del proceso que se utiliza y se simulará. Leks & Gwiazda (2016) asegura que debido al uso del software de simulación FlexSim, la organización tiene una ventaja competitiva a la hora de satisfacer sus operaciones productivas creando varios escenarios y eligiendo el óptimo.

Resultados

Los temas que acaban de ser discutidos son parte esencial de lo que se llevará a cabo en este estudio. La siguiente parte describe el estudio de caso de Montvelo Heladería Artesanal, un creciente productor de helados artesanales ubicado en Quito, Ecuador. El propietario busca expandir su producción para satisfacer la nueva demanda de los consumidores debido al hecho de que la instalación actual no es suficiente para satisfacer la demanda esperada.

Estudio de caso: Montvelo, Heladería Artesanal.

Montvelo, una heladería artesanal caracterizada por el uso de sabores naturales en los diferentes productos que ofrecen. Ubicado en una zona residencial urbana en el Valle de Cumbaya, en las afueras de la ciudad de Quito, Ecuador. Debido a su popularidad en el sector,

y al aumento del consumo de alimentos saludables por parte de la población, esta heladería ha presentado un aumento considerable de consumo sobre sus productos, lo que lleva a sus propietarios a buscar nuevos espacios, y así vender su producto.

Actualmente, sus instalaciones y procesos de fabricación no son los idóneos para abastecer la demanda de nuevas heladerías. Por ello, este estudio busca implementar un nuevo diseño de instalación que cuente con un proceso industrializado de fabricación de helados, pero manteniendo la producción artesanal que caracteriza a Montvelo.

Para determinar el diseño de la nueva instalación, necesitamos establecer algunas cosas importantes antes de que se pueda llevar a cabo el diseño correcto, como se enumeran a continuación: 1. Elegir la ubicación de la nueva instalación, 2. Establecer la demanda esperada para la producción de la instalación, 3. Definir la distancia desde la planta de producción hasta cada punto de venta y el costo de transporte y 4. Determinar el número de puntos de venta requeridos.

Infraestructura

Actualmente, la planta de producción de helados de Montvelo está restringida, y no hay planes de expansión posibles en este lugar. Su distribución consiste en un espacio con superficie total de 22m² donde la cocina ocupa 18 m², esto permite el almacenamiento de helados por alrededor de 2 o 3 días, lo que limita la producción de grandes lotes de helados de diferentes sabores. Su instalación también tiene un número limitado de dos máquinas para untar y congelar el helado, lo que puede ayudar a acelerar el proceso, pero la mayoría de las actividades dependen de la cocina de gas eléctrica y otros pequeños utensilios electrónicos de cocina.

Elección de la ubicación de la instalación

Para determinar la elección de la nueva instalación, se estableció con la empresa que, en términos de espacio, la nueva instalación necesita poseer una extensión de terreno mucho mayor en comparación con la actual, aproximadamente 400 m². Según PwC Asesores Empresariales (2012), el Municipio de Quito estableció a Carcelén como una zona industrial (ubicada al norte de la ciudad, que incluye la zona de Calderón) y posteriormente se ha extendido a los valles de Los Chillos, Tumbaco y Pomasqui. Después de ciertas conversaciones con el dueño, se estableció que Calderón sería una de las mejores opciones para buscar una nueva instalación. Posterior a la evaluación mencionada, obtuvimos un total de 10 opciones, que, según Tompkins et al. (2010), es un buen número de alternativas a evaluar para el diseño de una instalación. La Tabla 5 muestra las posibles ubicaciones del espacio en la ciudad de Quito, que se enumeran con las dimensiones, la ubicación específica y el precio.

Tabla 4. Opciones de instalaciones a evaluar

| N. Opción | Dimensiones | Ubicación | Calles | Precio |
|------------------|--------------------|------------------|------------------------|---------------|
| 1 | 510 m ² | Calderón | Marianitas de Calderón | \$ 1.750,00 |
| 2 | 460 m ² | Calderón | Llano grande | \$ 1.580,00 |
| 3 | 250 m ² | Calderón | Marianitas de Calderón | \$ 1.300,00 |
| 4 | 400 m ² | Calderón | ISMO | \$ 1.250,00 |
| 5 | 670 m ² | Calderón | Vía Principal | \$ 1.500,00 |
| 6 | 340 m ² | Calderón | Llano grande | \$ 1.500,00 |
| 7 | 325 m ² | Calderón | Marianas de Calderon | \$ 1.880,00 |
| 8 | 400 m ² | Amaguaña | Valle de los Chillos | \$ 3.800,00 |
| 9 | 200 m ² | Pifo | Pifo/ Tababela | \$ 1.400,00 |
| 10 | 200 m ² | Pifo | Panamericana | \$ 1.400,00 |

Método de promedio de puntos ponderados

Se implementó el método de promedio de puntos ponderados, que permite evaluar entre varios espacios potenciales cuál sería el óptimo, tomando en cuenta las necesidades y requerimientos que se buscan implementar como base para la nueva instalación.

Los Anexos 1 y 2 muestran la matriz de ponderación donde se probaron las posibles ubicaciones en función de sus fortalezas y debilidades (Tompkins et al., 2010). Sapag et al. (2014) sugieren posibles factores de ponderación a considerar en función de los objetivos para diseñar una nueva instalación y determinar las ubicaciones correctas de las instalaciones.

Definimos ocho factores relevantes y cada factor tiene su propio peso asignado. Para determinar la mejor opción, se calificó las 10 ubicaciones en función de los factores relevantes en una escala del 1 al 10, donde 1 no es óptimo y 10 es óptimo. Para obtener la calificación ponderada, se multiplicó la puntuación por el peso asignado de cada factor. Se realiza la suma de las calificaciones ponderadas de cada ubicación y se selecciona la puntuación más alta como ubicación óptima.

A través del método aplicado, se concluyó que la ubicación óptima para la nueva instalación se abrirá en Calderón, que cuenta con un galpón de 400 m² listo para ser utilizado y dividido en función de los requisitos para la producción.

Selección de puntos de venta

Para ello, se determinó la zona óptima que estarán ubicadas en parroquias previamente seleccionadas para colocar los puntos de venta. Se determinaron los parámetros de demanda, distancia desde el centro de la instalación, costos fijos y costos variables de transporte. Estos parámetros se establecen con el objetivo de desarrollar posteriormente un modelo matemático que determine los puntos de venta óptimos.

Determinación óptima del área

La heladería artesanal Montvelo, caracterizada por el uso de ingredientes naturales, está ubicada en un barrio urbano de una posición de clase media alta con el objetivo de poder comercializar sus helados que tienen a un valor considerablemente alto. El litro de helado se vende actualmente a un valor de \$7.50, y el objetivo es seguir comercializando el producto en otras áreas manteniendo su calidad y precio. Por ello, se eligió la zona distrital Norte Eugenio Espejo, caracterizada por su alto nivel de vida y alta actividad comercial en la zona. Es la zona más habitada de Quito, con el 20% de los habitantes de la ciudad (Instituto de la Ciudad, 2012). Es la zona con más actividad económica de la ciudad, ya que representa un poco más del 50% de quienes trabajan en esta zona, lo que equivale a un alto flujo de consumidores que pueden pagar los precios de la heladería artesanal. Asimismo, el dueño de la tienda quiere mantener a Cumbaya como uno de los puntos de venta a considerar para el diseño de la red logística, y también quiere saber si podría existir la posibilidad de abrir un nuevo punto de venta cerca de los Valles de Quito. Por lo cual se añaden a los Valles de Tumbaco y Puembo como candidatos para abrir un nuevo punto de venta para la red logística. El Anexo 3 contienen un mapa de la zona del distrito de Eugenio Espejo, las posibles ubicaciones consideradas y que incluye Cumbayá y otros valles cercanos.

Demanda

Se determinó la población objetivo de la empresa. Incluye a las personas entre 10 y 64 años, y con poder adquisitivo medio-alto, es decir, pertenecientes a los estratos sociales A, B (nivel socioeconómico alto en Ecuador) y C+ (nivel socioeconómico medio en Ecuador), que son datos proporcionados por el Censo de Población y Vivienda (CPV) 2010. Además, para obtener una población objetivo más precisa, se definió el consumo frecuente de helados como un parámetro importante.

Carbache et al. (2020) realizaron un estudio en Bahía de Caraquez, Ecuador, donde analizaron la frecuencia de consumo de helado en una muestra de 96 personas. Se encontró que 78,1% de las personas consumen frecuentemente helado artesanal. (Carbache et al., 2020) Un comportamiento similar se asumió en la ciudad de Quito, por lo que el 78,1% de los habitantes de cada parroquia fueron considerados como la población objetivo, los resultados se presentan en el Anexo 4.

Mediante la segregación de la población, se obtuvo la demanda proyectada para cada punto de venta potencial. Sin embargo, al no existir datos históricos sobre el comportamiento del consumidor en cada ubicación potencial. Lilien et al. (2017) sugieren el uso del modelo de Bass para predecir cuántos consumidores eventualmente adoptarán el nuevo producto y cuándo lo harán (Lilien et al., 2017). Es importante considerar que el modelo Bass tiene los siguientes supuestos: un consumidor adopta el producto en un período específico o espera para adoptarlo hasta que todos los consumidores potenciales finalmente lo adopten; hay un número fijo de clientes potenciales máximos; y no hay compras repetidas.

El modelo de Bass se representa de la siguiente manera en la ecuación (1):

$$n(t) = \left[p + \frac{q}{m} N(t-1) \right] \times [m - N(t-1)] \quad (1)$$

Donde los términos se definen como:

$n(t)$ indica el número de adoptantes en el momento t .

N denota la capacidad de mercado (número eventual de consumidores que adoptarán).

p es el coeficiente de innovación.

q es el coeficiente de imitación.

En el caso de Montvelo, se consideró una demanda inicial $N(0)$ de 216 ventas, que es el promedio mensual de ventas de helados Montvelo en su sucursal actual en Cumbaya. La capacidad de mercado N se tomó como la población segregada que se determinó para cada parroquia. Con respecto a los coeficientes p y q , Lilien et al. (2017) proponen que estos parámetros se pueden determinar a partir de innovaciones anteriores similares al producto, o en ausencia de esta información, es correcto utilizar valores promedio para todos los productos que serían $p = 0,035$ y $q = 0,390$ (Lilien et al., 2017). La proyección de ventas se realizó en cada parroquia durante 12 meses y para la aplicación de este parámetro en el modelo matemático. Se seleccionó el valor máximo mensual de cada parroquia ya que se consideró que la instalación debía tener en cuenta la demanda máxima para establecer su capacidad. El Anexo 5 muestra la demanda en cada parroquia y valle. Es importante destacar que esta demanda es en unidades de personas que comprarán el producto, y posteriormente se busca transformar esta demanda en unidades de litros de helado.

Distancia de la instalación

Mediante el uso de bibliotecas Python como Geopy, se han determinado las latitudes y longitudes de los puntos centrales de cada parroquia que conforman el área del distrito de Eugenio Espejo y los valles que rodean la ciudad de Quito. El Anexo 6 muestra los resultados obtenidos de los puntos centrales para cada parroquia y valle, que se utilizarán para determinar las rutas óptimas a cada uno de los puntos de venta.

Del mismo modo, con el uso de la librería Osmnx, se vincula a Open Street Map para determinar las rutas o caminos que se pueden recorrer en diferentes formas de transporte, y a su vez, al conectarse con esta aplicación, determina la ruta óptima considerando diferentes factores (Boeing, 2017). De esta forma, se determinó la distancia más corta desde la fábrica ubicada en Calderón hasta los posibles puntos de venta que se obtuvo con respecto a las

geolocalizaciones y la segregación previa por zonas comerciales. El Anexo 7 nos muestra la distancia óptima, en metros, de un punto a otro.

Costos

Para determinar el costo de la red logística de los puntos de venta óptimos para abrir, lo dividimos en dos tipos de costos. El primero es el costo del transporte, al que se le asignará un valor de \$ 1,21 por kilómetro recorrido. Este valor es definido como óptimo por Montenegro (2015). Y el costo fijo está relacionado con el costo de alquiler de un posible punto de venta que está disponible en cada parroquia definida anteriormente. Los Anexos 8 y 9 muestran los dos tipos de costos asignados a cada posible punto de venta considerado para este caso.

Modelo matemático

Para el modelo matemático, la programación lineal busca a través de restricciones y funciones objetivas, determinar los puntos de venta óptimos que deben abrirse y, de esta manera, conocer la demanda que la fábrica de helados debe desarrollar para abastecer los diferentes locales.

Parámetros:

costofijo_i: Es el costo de renta de los posibles puntos de venta

distancia_i: Distancia de fábrica a cada punto de venta en k

demanda_i: Demanda de clientes en cada punto de venta

P_{min}: Puntos de venta mínimo para abrir

P_{max}: Puntos de venta máximo para abrir

Transcost_i: Costo de transporte por kilómetro recorrido

Variables:

y_i: Variable binaria para la apertura o no del punto de venta

Función Objetivo

$$\text{Maximize Utilidad: } \sum_i \text{demanda} * y_i * 7.5 - (\sum_i \text{distancia} * \text{trancost}_i * y_i + \sum_i \text{costofijo} * y_i) \quad (2)$$

Sujeto a:

$$\sum_i y_i \geq Pmin \quad (3)$$

$$\sum_i y_i \leq Pmax \quad (4)$$

1. La ecuación (2) representa la función objetivo, que busca maximizar los ingresos dados por la suma de la demanda que considera a cada punto de venta multiplicado por el precio de un litro de helado, menos la suma de la distancia recorrida por cada punto de venta multiplicar por su costo de transporte y suma el costo fijo del alquiler considerado de cada punto de venta.
2. La ecuación (3), representa la restricción de los puntos de venta a abrir, debe ser mayor que el mínimo propuesto
3. La ecuación (4), representa la restricción de puntos de venta a abrir, debe ser inferior al máximo propuesto

Se realizó un benchmarking para determinar el número total de puntos de venta que tienen otros negocios de helados artesanales con la intención de analizar cuántos serían la cantidad máxima y mínima de puntos de venta a abrir. Los Anexos 10 y 11 muestran la evaluación comparativa realizada y un análisis de sensibilidad, donde es posible variar la cantidad de puntos de venta abiertos.

Asimismo, el Anexo 12 muestra que se determinó que se deben abrir 6 puntos de venta, los cuales son: el punto ya abierto en Cumbaya además de Iñaquito, Kennedy, Sangolquí, Rumipamba y Tumbaco. El Anexo 13 muestra un mapa de la red logística final que incluye la

instalación que funciona como centro de distribución y los puntos de venta definidos anteriormente por el método matemático.

Determinación y especificaciones del producto

Montvelo Heladería Artesanal produce una variedad de sabores de helado a base del uso de frutas naturales y otros ingredientes para dar la textura suave que caracteriza al helado artesanal. Actualmente, Montvelo produce más de 24 sabores de helado. Anexo 14 muestra una tabla completa de los sabores de helado producidos por Montvelo. Para facilitar la producción, la empresa elabora sus helados en dos grupos, que son helados que contienen base leche y otros con agua. Este componente clave ha ayudado al propietario a diseñar las recetas de helado, dependiendo del tipo de base con la que se prepara.

La empresa clasifica las materias primas que van desde sólidas hasta líquidas según las propiedades que añaden en el proceso de helado artesanal. Las materias primas básicas se dividen en 8 categorías que se muestran en el Anexo 15.

Según Dutta et al. (2020), el uso de materias primas como grasa, colorantes, edulcorantes, emulsionantes entre otros, son las materias primas básicas utilizadas para producir helados artesanales. Sin estos ingredientes, la textura, el sabor y la cremosidad del helado variarán.

Secuenciación de procesos

Como se mencionó en la sección anterior, actualmente la planta de producción de helados de Montvelo se lleva a cabo en una cocina de hogar con espacio limitado y restricciones de movimiento. Su proceso para hacer helado consta de 12 pasos importantes, ya sea para helados a base de leche o agua. El Anexo 16 muestra el proceso de producción utilizado en las instalaciones actuales de Montvelo. De igual manera el Anexo 17 muestra el equipo y otros utensilios utilizados para cada paso de la producción de helados.

No se tomará en cuenta el espacio actual debido a las restricciones mencionadas. Por lo tanto, cada proceso de producción que el propietario de la tienda realiza para hacer helados debe estar equipado con máquinas más grandes y otras áreas importantes para la producción. Almena et al. (2020) afirman que cuando se trata del diseño de una instalación para la producción de helados, es necesario contar con una máquina específica que pueda realizar ese tipo de proceso (Almena et al., 2020). El Anexo 18 recoge los nuevos requisitos para cada proceso de producción en cuanto a los tipos de máquinas necesarias y otros utensilios.

Salida de producto

La demanda calculada anteriormente se encuentra estimada en número de personas, sin embargo, es clave determinar un factor de cambio para conocer cuanto debe producir la fábrica en términos de litro de helado. Para transformar la demanda, se utilizó la base de datos de ventas de Montvelo. A partir de ella, se estableció cuánto representaba cada SKU con respecto a un litro de helado, ya que muchos de estos se vendían como bolas de helado y un litro se compone de aproximadamente 10 bolas de helado. En el Anexo 19 figura la tabla de equivalencias de los productos a base de helados. Los cálculos se basan en datos de un período de 10 meses, en el que Montvelo vendió 5706 cucharadas de helado, lo que equivale a 57,06 litros mensuales, y dado que en promedio la tienda actual de Montvelo atiende a 216 consumidores, se determina que cada uno consumió un promedio de 0,302 litros de helado por mes.

Se realizaron las siguientes suposiciones. En primer lugar, se consideró que, según Tompkins et al. (2010) El diseño de la instalación debe estar proyectado de 5 a 10 años, por lo tanto, se decidió proponer un escenario en el que la instalación esté a su máxima capacidad. En segundo lugar, la demanda proyectada se consideró utilizando el modelo Bass. Entre ellas está que exista un número máximo fijo de consumidores potenciales. La demanda máxima

proyectada para el número total de puntos de venta será la utilizada para determinar la producción máxima, independientemente del mes en que se fije esta demanda. Esta decisión está respaldada por el concepto de colchón de capacidad, que es una cantidad de capacidad superior a la demanda esperada cuando existe cierta incertidumbre sobre la demanda (Stevenson, 2015). Finalmente, se considera que la demanda en los próximos 5 años seguirá siendo la misma que la proyectada por el modelo Bass para el primer año. Esto se debe a que hacer una proyección a largo plazo con datos actuales es algo arriesgado y, dado que el producto es estándar, no se espera una volatilidad extrema de la demanda en los próximos 5 años. En consecuencia, se determinó que la producción máxima mensual a considerar es de 2372 litros de helado al mes, ya que el modelo Bass indica que la demanda mensual total máxima de los puntos de venta seleccionados sería de 7354 personas. Los datos sobre la demanda de los puntos de venta figuran en el Anexo 20.

Diseño de horarios

Las decisiones del diseño de horarios afectan el número de máquinas, los requisitos de espacio, las políticas de almacenamientos entre otros factores. (Tompkins et al., 2010). Actualmente, el proceso de Montvelo toma aproximadamente 60 minutos para actividades donde se necesita un operado. El proceso actual tiene una salida de 4 litros de helado por lote. Por lo tanto, significa que en un turno regular a tiempo completo solo podría haber 32 litros producidos en 8 horas.

Sin embargo, para la nueva instalación, se aplicará un turno de 8 horas con una hora para configurar máquinas y equipos en un horario de lunes a viernes. Esto significa que la instalación operaría alrededor de 160 horas al mes. De igual manera, la maquinaria seleccionada en los siguientes pasos debe tener una mayor capacidad de producción para cumplir con la cuota mensual.

Requisitos del proceso

Maquinaria y equipo

Para seleccionar la maquinaria y equipo correcto, Almena et al. (2020) en su estudio, realizado sobre la industrialización artesanal del helado de chocolate, nos menciona los procesos y maquinaria para la correcta elaboración del helado artesanal. En el Anexo 21 se muestran las especificaciones y las máquinas o herramientas utilizadas para la elaboración del proceso.

Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control (HACCP)

El sistema de puntos críticos de control de análisis de riesgos se utiliza en el proceso de producción en las nuevas instalaciones de Montvelo para garantizar la seguridad de la producción artesanal de helados. En su artículo, Lu et al. (2014) enfatiza la importancia de la implementación de HACCP en todas las etapas del proceso de producción de helados. La razón es que existen peligros biológicos, químicos y físicos que pueden existir en el proceso. El Anexo 22 muestra una tabla completa del HACCP en el Proceso de Producción de Helados Montvelo.

Tipo de producción

El tipo de planificación seleccionada para el diseño es por procesos, donde las estaciones de trabajo se agrupan en función de actividades "similares" (Tompkins et al., 2010). Esta clasificación depende de la variedad y el volumen de producción del producto. En el caso del helado Montvelo, se trata de un producto estandarizado porque solo hay dos tipos de bases de helado (agua y leche). Además, la demanda se considera estable, por lo tanto, los departamentos se planificaron para agrupar todas las estaciones de trabajo necesarias para producir el producto.

Cuando se trata del diseño final para los departamentos de la línea de producción, el diseño se basará en la secuencia de actividades en el proceso, y el flujo de material ocurrirá más entre departamentos que entre estaciones de trabajo dentro de un departamento.

Matriz de priorización

La matriz de priorización se utiliza para juzgar la importancia de cada factor en comparación con los demás (Tompkins et al., 2010), lo que será útil para comprender los elementos clave a considerar durante el diseño de la instalación y durante el proceso de evaluación alternativa.

Para el desarrollo de la matriz de priorización, se emplearon los criterios propuestos por Tompkins et al. (2010): distancia total recorrida (A), visibilidad del piso de fabricación (B), estética general del diseño (C), facilidad para agregar negocios futuros (D), uso del equipo MH actual (E), inversión en nuevos equipos MH (F), requisitos de espacio (G), requisitos de personal (H), impacto en los niveles WIP (I), los riesgos del factor humano (J) y el costo estimado de la alternativa (K) se ven afectados (Tompkins et al., 2010).

Por otro lado, para comparar cada par de criterios, se utilizaron los pesos típicamente utilizados y mencionados por el mismo autor. Estas ponderaciones son: 1 donde los criterios son igualmente importantes; 5 donde el criterio X es significativamente más importante que el criterio Y; 10 donde el criterio X es extremadamente más importante que Y; 1/5 donde X es significativamente menos importante que Y; y 1/10 cuando X es extremadamente menos importante que Y (Tompkins et al., 2010). Finalmente, se suma el peso en cada fila y el resultado es un porcentaje de la bondad relativa de cada criterio de diseño. La matriz de priorización final se muestra en el Anexo 23.

Los resultados indicaron que los 4 factores más importantes a considerar fueron los riesgos del factor humano, los requisitos de espacio, la distancia total recorrida y el costo

estimado de la alternativa. Esto se consideró a fondo durante el desarrollo del diseño y juega un papel importante en la evaluación de las alternativas.

Planificación de departamentos

Según Tompkins et al. (2010), cuando se trata de definir los departamentos en la nueva instalación, es importante observar el proceso de producción y los requisitos en cada paso. En base a lo expuesto por Tompkins los departamentos para la nueva instalación se definieron en base a las actividades del proceso de helado artesanal. El número total de departamentos seleccionados es 12.

También se consideraron ciertas restricciones:

1. Requisitos de producción y seguridad.

Dentro de la nueva instalación, se manipulan alimentos en todo momento, por lo que ciertas áreas como cuartos de almacenamiento y las salas de congelación deben tener su propio departamento.

2. Tipo de producción.

Esto define por proceso, por lo tanto, cada departamento necesita ser separado de acuerdo con la actividad que realiza.

3. Restricción de espacio.

Mediante conversaciones con el dueño se decidió que, en términos de disponibilidad de espacio, solo una pequeña parte se utilizaría para diseñar el proceso.

Relación entre actividades

Flujo cualitativo

El proceso para desarrollar el diagrama cualitativo de relaciones de flujo es mencionado por Tompkins et al. (2010), y utilizando los valores desarrollados por Muther. Este se debe construir con los siguientes pasos: 1. Crear una lista de departamentos, 2. Realizar entrevistas con las personas que ejecutan las actividades en cada departamento, 3. Defina los criterios para asignar relaciones de cercanía y registre los criterios como las razones de los valores de relación y 4. Establezca el valor correspondiente para cada par de departamentos. (Tompkins et al., 2010). En el Anexo 24 se observa el cuadro de relaciones del flujo cualitativo.

Flujo cuantitativo

El flujo cuantitativo representa el flujo de elementos entre departamentos en un período de tiempo. Estos pueden ser materiales, información o personas. El proceso seguido para desarrollar este gráfico desde hacía es explicado por (Tompkins et al., 2010) y es el siguiente:

1. Crear una matriz enumerando los departamentos en la primera fila y columna de una tabla,
2. Establezca una medida de flujo para la instalación que indique con precisión los volúmenes de flujo equivalentes. En este caso, se eligió la unidad de medida común, litros de helado y 3.
- Registrar volúmenes de flujo en el gráfico, basado en las trayectorias de flujo (Tompkins et al., 2010).

Una vez establecida la medida común, se determinó el flujo entre cada par de departamentos. El flujo es constante para los departamentos que son consecutivos. En cambio, para la recepción de materias primas y almacenamiento, se determinaron la cantidad de ingredientes necesarios para cada tipo de base de helado. Según la base de datos de ventas de Montvelo, el 43,5% de los helados vendidos eran a base de agua, mientras que el otro 56,5% eran helados a base de leche. A partir de este porcentaje, la cantidad de ingredientes necesarios para producir la demanda mensual de 2372 litros de helado tuvo que ser aproximada a una

mayor cantidad. Por lo tanto, el departamento de materias primas enviaría el almacenamiento 2379 litros. El gráfico se puede visualizar en el Anexo 25.

Determinación del espacio

Una vez determinado el número de departamentos que se utilizarán y teniendo en cuenta las máquinas y herramientas que contribuirán a su fabricación, es fundamental determinar el área necesaria. Para que cada departamento pueda satisfacer sin dificultad las necesidades de elaboración, manejo de maquinaria y maniobrabilidad del trabajador.

Cuatrecasas (2017) menciona que el Método Guerchet es clave para determinar el área necesaria requerida por cada departamento que compone el proceso de producción de helados. Cuatrecasas (2017) explica que este método se compone de la obtención de tres tipos de superficies, que son: estática, gravitación y evolución. Se empleó la siguiente ecuación.

$$S_t = N(S_{es} + S_g + S_{ev}) \quad (5)$$

$$S_g = S_{es} \times n \quad (6)$$

$$S_{ev} = (S_{es} \times S_g) \times k \quad (7)$$

Dónde:

St: superficie total

Sg: superficie gravitacional

Sev: superficie de evolución

Ses: superficie estática

K: Coeficiente de evolución

n: número de lados operativos

N: número de elementos estáticos o móviles de un tipo

La ecuación (5) es la suma entre las tres superficies multiplicada por el número de elementos móviles, el autor Suica (2015) agrega este factor a la ecuación para que también se considere el espacio para los operadores y el equipo. La superficie estática (Ses) se refiere al área de los diferentes instrumentos y máquinas que estarán dentro del departamento. Según Cuatrecasas (2017), para la superficie gravitacional (Sg), el número de lados operativos debe ser 0 para las máquinas automáticas, pero puede ser 1 en el caso de la distribución de flujo. El departamento de almacenamiento y envasado utilizará un n de 1, mientras que el resto de las máquinas utilizarán un n de 0. Finalmente, la superficie de evolución (Sev) se obtiene sumando las superficies anteriores y multiplicando por la k que se obtuvo. El parámetro k viene dado por la división entre operadores, equipos y 2 veces la altura media ponderada de los elementos estáticos. La superficie total obtenida es la necesaria para la correcta localización de máquinas y movimiento de elementos móviles.

Se realizó una adaptación para obtener el espacio necesario entre departamentos. Si no existían máquinas, usábamos n como el número de pasillos multiplicado por el espacio libre mínimo que Tompkins et al. (2010) nos dice que tengamos un ancho mínimo de 0,762 m y eliminemos la superficie de evolución. De esta manera, en el Anexo 26, se puede visualizar el resultado obtenido del área de cada departamento. La suma del área total es 110.09 m².

Sistema de manejo de materiales

Según Tompkins et al. (2010), una mejor manera de entender cómo se mueve el material a lo largo del proceso es comprender primero la ecuación de manejo de materiales, lo que ayuda a identificar soluciones paso a paso para cualquier sistema de manejo de materiales. El Anexo 27 muestra un gráfico de la ecuación que se va a utilizar para este caso de estudio.

El uso de la ecuación de manejo de materiales nos ayuda a comprender mejor el movimiento de las materias primas y los productos finales para la planta de producción de helados de Montvelo. El Anexo 28 muestra la aplicación de la ecuación de manipulación de materiales.

Enfoque de programación entera mixta

El enfoque de programación entera mixta (MIP) es una alternativa que requiere que los departamentos tengan una forma rectangular. Por lo tanto, del área especificada para cada departamento en el Anexo 26, se obtuvo la raíz cuadrada para determinar el tamaño del lado del departamento, lo que implica la suposición de que cada departamento tiene una forma cuadrada. Para un departamento de forma rectangular, las únicas cosas que definen su ubicación son el centroide y la longitud del departamento (Tompkins et al., 2010).

Comúnmente, los modelos matemáticos se desarrollan con dimensiones departamentales tratadas como parámetros en lugar de variables de decisión. Se obtiene un área requerida de acuerdo con las máquinas y equipos necesarios. De esta manera el modelo matemático funciona como un algoritmo de "empaquetamiento" bidimensional para determinar la ubicación óptima de objetos rectangulares (Tompkins et al., 2010) buscando la distancia más corta entre los centroides de los departamentos que tienen un flujo significativo. El modelo matemático aplicado se basa en el presentado por Domínguez, S. (2019) en su análisis de modelos de optimización para el problema de diseño de trazado. El problema del diseño de las instalaciones se formula de la siguiente manera:

Conjuntos

$Department1 = \{1,2, \dots, 12\}$ Set de departamentos

Parámetros

B_x denota el largo del departamento (medido a lo largo del eje x)

B_y denota el ancho del departamento (medido a lo largo del eje y)

L_i largo del departamento $i \in \text{Departamento1}$ (coordenada x superior)

L_j largo del departamento $j \in \text{Departamento1}$ (coordenada x inferior)

W_i ancho departamento $i \in \text{Departamento1}$ (coordenada y superior)

W_j ancho departamento $j \in \text{Departamento1}$ (coordenada y inferior)

f_{ij} flujo de departamento i to j , $i, j \in \text{Departamento1}$, j (coordenada y), $i \neq j$

c_{ij} Costo unitaria para el movimiento entre departamentos i to j , $i, j \in \text{Departamento1}$, (coordenada y), $i \neq j$

M denota un número muy grande

Variables de decisión

x_i Coordenada en el eje X del centroide del departamento $i \in \text{Departamento1}$

y_i Coordenada en el eje Y del centroide del departamento $i \in \text{Departamento1}$

d_{ij} Distance entre los departamentos i and j : $i, j \in \text{Departamento1}$, $i \neq j$

dx_{ij} Distancia entre los departamentos i y j en el eje x : $i, j \in \text{Departamento1}$, $i \neq j$

dy_{ij} Distancia entre los departamentos i y j en el eje y : $i, j \in \text{Departamento1}$, $i \neq j$

Variables de decisión binarias

$$(P_{ij}, Q_{ij}) = \begin{cases} (0,0) & \text{si el departamento } i \text{ es ubicado a la derecha del departamento } j \\ (1,0) & \text{si el departamento } i \text{ es ubicado a la izquierda del departamento } j \\ (0,1) & \text{si el departamento } i \text{ es ubicado a la sobre el departamento } j \\ (1,1) & \text{si el departamento } i \text{ es ubicado debajo del departamento } j \end{cases}$$

Función objetivo

$$\text{Minimize } Z = \sum_{i,j \in \text{Department1}, i < j} f_{ij} d_{ij} c_{ij} \quad (8)$$

Sujeto a:

Restricciones de superposición

$$x_{i,i} - x_{i,j} + M(P_{ij} + Q_{ij}) \geq \frac{1}{2}(L_i + L_j) \quad i, j \in \text{Department1} | i < j \quad (9)$$

$$x_{i,j} - x_{i,i} + M(1 - P_{ij} + Q_{ij}) \geq \frac{1}{2}(L_i + L_j) \quad i, j \in \text{Department1} | i < j \quad (10)$$

$$y_{i,i} - y_{i,j} + M(1 + P_{ij} - Q_{ij}) \geq \frac{1}{2}(W_i + W_j) \quad i, j \in \text{Department1}, | i < j \quad (11)$$

$$y_{i,j} - y_{i,i} + M(2 + P_{ij} - Q_{ij}) \geq \frac{1}{2}(W_i + W_j) \quad i, j \in \text{Department1} | i < j \quad (12)$$

Restricciones de distancia

$$d_{ij} = dx_{ij} + dy_{ij} \quad \{i, j \in \text{Department1} | f_{ij} > 0\} \quad (13)$$

$$x_i - x_j \leq dx_{ij} \quad \{i, j \in \text{Department1} | f_{ij} > 0\} \quad (14)$$

$$x_j - x_i \leq dx_{ij} \quad \{i, j \in \text{Department1} | f_{ij} > 0\} \quad (15)$$

$$y_i - y_j \leq dy_{ij} \quad \{i, j \in \text{Department1} | f_{ij} > 0\} \quad (16)$$

$$y_j - y_i \leq dy_{ij} \quad \{i, j \in \text{Departments1} | f_{ij} > 0\} \quad (17)$$

Restricciones de posición y límites

$$\frac{L_i}{2} \leq x_i \leq \left(B_x - \frac{L_i}{2}\right), \quad i \in \text{Department1} \quad (18)$$

$$\frac{W_i}{2} \leq y_i \leq \left(B_y - \frac{W_i}{2}\right), \quad i \in \text{Department1} \quad (19)$$

Naturaleza de las variables

$$x_i, y_i \in R^+, \quad i \in \text{Department1} \quad (20)$$

$$d_{ij}, dx_{ij}, dy_{ij} \in R^+, \quad i, j \in \text{Departments1} | f_{ij} > 0 \quad (21)$$

$$P_{ij}, Q_{ij} \in \{0,1\}, \quad i, j \in \text{Departments1} \mid i < j \quad (22)$$

Según Domínguez, S. (2019), las ecuaciones representan lo siguiente:

La ecuación (8) representa el objetivo de minimizar el costo asociado al manejo de materiales, este costo se describe en términos del flujo entre departamentos, multiplicado por el costo de ejecutar el movimiento, en este caso el costo estándar considerado es de \$1 por unidad traducida. El flujo entre departamentos es el que se presenta en el Anexo 25 en el gráfico de origen.

Las ecuaciones (9) a (12) son restricciones que indican que el modelo no asigne un departamento uno encima del otro, estos dependen en gran medida del valor de las variables binarias porque dependiendo del valor que adquiera cada una de ellas, el modelo evaluará si hay otro departamento a la derecha, izquierda, parte superior o inferior del área de ubicación potencial.

La distancia empleada entre los centroides de los departamentos es la suma de la distancia entre estos dos en los ejes x e y. Esto se llama distancia rectilínea y se representa en la ecuación (13). Mientras que las ecuaciones (14) y (15) calculan la distancia en el eje x del tiempo, el centroide del departamento I está a la derecha o izquierda del departamento j, por otro lado, las ecuaciones (16) y (17) hacen lo mismo para el eje y.

Las ecuaciones (18) y (19) aseguran que los departamentos se coloquen dentro del área delimitada por las dimensiones del edificio teniendo en cuenta el centroide en x y en y del departamento para restringir su posición con la ayuda de los parámetros B_x B_y .

Las ecuaciones (20) a (22) consideran dos tipos de variables en este modelo, continuas y discretas, lo que hace que el modelo sea de Programación Mixta. La ecuación (20) determina que las variables de coordenadas son continuas y positivas y que la esquina inferior izquierda

se establece como la coordenada (0,0) del plano cartesiano. La restricción (21) obliga a las distancias a tomar un valor continuo positivo y excluye esta condición para los departamentos que no comparten ningún flujo. Finalmente, la ecuación (22) define variables P_{ij} y Q_{ij} como variables binarias (Domínguez, S,2019).

Para resolver el modelo matemático presentado por Dominguéz, S. (2019), se utilizó el software AMPL. Aunque la función objetivo es de tipo lineal, la formulación de las restricciones requirió el uso de un solucionador no lineal. Se aplicó el solver XPRESS ya que tenía una respuesta más rápida y confiable en comparación con los otros solvers como GUROBI, KNITRO y BARONA que producían una respuesta nula o tomaban un mínimo para procesar completamente. El Anexo 29 muestra los resultados obtenidos con este software. Los resultados mostrados son variables x_i y y_i que representan las coordenadas de cada centroide departamental. Estos resultados se emplearon para elaborar el diseño final utilizando el software AutoCAD para una medición más precisa del espacio. Los resultados se muestran en el Anexo 30.

Enfoque de algoritmos

Una vez que se ha determinado el diseño óptimo utilizando el método MIP, es clave identificar otros diseños de trazado para su evaluación y determinación en función de sus medidas de rendimiento y adyacencia. Tompkins et al. (2010) recomienda emplear dos algoritmos de construcción heurística para el diseño de una nueva instalación. Se utilizarán los métodos de construcción gráfica y lógica.

Método gráfico

Tompkins et al. (2010), nos dice que el método gráfico está enfocado a promover la adyacencia entre los diferentes departamentos a través de construcciones iterativas. Esto se realizó mediante las relaciones de la tabla desde- hacia. Con ello se busca relacionar y priorizar

las fuertes relaciones que existen entre departamentos. El Anexo 31 muestra el procedimiento basado en gráficos. Al ser un método de construcción iterativo, los departamentos se intercambian para determinar la adyacencia a través de sus relaciones más fuertes. De esta manera, los departamentos se agregan iterativamente hasta obtener el resultado. En el Anexo 32 se presenta el diseño final del método gráfico.

Método LOGIC

Nuestro modelo final es el método lógico, Tompkins et al. (2010) comenta que este método se utiliza normalmente para instalaciones donde la estructura base es rectangular y describe un método que corta iterativamente el plano en líneas horizontales y verticales. Para desarrollar este método, se inicia por medio de la tabla desde- hacia, donde su flujo es el material que pasa de un departamento a otro. Finalmente, se crea un árbol de recortes igual que se muestra en el Anexo 33, donde se encuentran inicialmente todos los departamentos agrupados, y se cortan agrupándolos en departamentos que tienen una fuerte relación. Esto se repite hasta que cada departamento se establece individualmente. Una vez construido este diagrama de corte de árbol, se harán los mismos cortes en el diseño final, esto agrupa y prioriza el flujo entre departamentos. El Anexo 34 muestra el resultado final de la presentación utilizando el método LOGIC.

Evaluación de alternativas

Puntuación de adyacencia

Tompkins et al. (2010) mencionan que la puntuación de adyacencia es útil para comparar uno o más diseños alternativos, ya que maximiza el flujo inmediato entre departamentos. La puntuación de adyacencia se calcula como la suma de todos los valores de flujo entre departamentos adyacentes en el diseño, la función objetivo para la puntuación de adyacencia empleada para cada diseño alternativo se calcula de la siguiente manera:

$$\max z = \sum_{i=1}^{12} \sum_{j=1}^{12} f_{ij} x_{ij} \quad (23)$$

Donde es una variable binaria que es igual a 1 si los departamentos x_{ij} i y j son adyacentes, lo que significa que comparten al menos un borde) en el diseño, y 0 de lo contrario (Tompkins et al., 2010) Del mismo modo, es el flujo cualitativo mencionado anteriormente, que se muestra en el Anexo 25.

La adyacencia entre cada par de departamentos se analizó para cada diseño alternativo, esto se anotó en las matrices que se muestran en los Anexos 35, 36, 37. El resultado de la función objetivo fue una puntuación de 24634 para la alternativa MIP, 9176 para el método gráfico y, finalmente, 22414 para el enfoque LOGIC.

Simulación

La simulación es una alternativa para la evaluación de los diseños **propuestos**. **Tompkins et al., (2010) nos dice que proporciona un mecanismo para comprender, y predecir, el comportamiento de un sistema. Por lo tanto, utilizamos la simulación para obtener algunos de los beneficios que esto proporciona, tales como: 1. Explicar al personal operativo cómo funcionará un sistema propuesto, 2. Prueba de viabilidad de un sistema propuesto y 3. Validación de modelos matemáticos.**

La simulación es clave para los involucrados en el proyecto ya que permite comprender la distribución de las diferentes áreas dentro del diseño sugerido (Tompkins et al., 2010). Del mismo modo, nos permitió conocer el flujo interno que existe y, por parte de la empresa, determinar las especificaciones que tiene o si se quieren implementar nuevos cambios. A continuación, se presentan los siguientes supuestos.

- La instalación opera de lunes a viernes de 8 a.m. a 6 p.m.

- Mantiene dos turnos, uno por la mañana y otro por la tarde, donde por la mañana se fabricará helado de leche y por la tarde helado de agua, por lo que de 13h a 14h la fábrica cesará operaciones todos los días para poder realizar la limpieza y preparar nuevamente la maquinaria.
- Los tiempos establecidos en cada proceso vienen determinados por las especificaciones de las máquinas.
- Cada cilindro final equivale a 15 litros de helado, que es la capacidad máxima que pueden producir las máquinas mezcladoras.
- El tamaño de cada área se puede encontrar en el Anexo 26.
- La composición de cada departamento puede consultarse en el Anexo 21.
- El flujo del proceso entre departamentos está dado por la matriz, que encontramos en el Anexo 25.

Como resultado, se llevaron a cabo tres simulaciones dados los tres diseños diferentes (MIP, Gráfico y Lógica), donde cada simulación es la misma y solo varía la ubicación de sus departamentos.

Para los tres *layouts* propuestos se analizó la distancia recorrida de cada operador a lo largo de todo el proceso. Esto se hizo para seleccionar el mejor diseño que minimiza la distancia de viaje de un departamento a otro. En los Anexos 38, 39 y 40 se muestran los valores de las distancias obtenidas de cada trazado en un tablero de instrumentos de los modelos FlexSim. Las distancias se transformaron en km para los tres diseños y el resultado fue que el modelo MIP presenta la menor distancia recorrida para cada operador en el proceso. El Anexo 41 muestra la tabla de los resultados finales.

Finalmente, de acuerdo con nuestros resultados, se proponen algunas recomendaciones:

La simulación se establece con los parámetros para su funcionamiento proyectado durante 5 años, de esta manera su salida es óptima para satisfacer la demanda proyectada. Sin embargo, en el Anexo 43 visualizamos el estado de uso de cada máquina, donde 4 máquinas tienen una utilización superior al 90%, es decir, estas máquinas serán nuestro futuro cuello de botella y las que dictarán el ritmo de flujo de la fábrica.

Selección de un plan de instalación

Por medio del factor de adyacencia y distancias recorridas, el modelo MIP propuesto es el óptimo para el diseño de la nueva instalación. Será establecido en la ubicación Emilio Obando N-23 ubicada en Calderón y seguirá los pasos presentados en el estudio anterior. El Anexo 42 muestra el diseño final que está diseñado en el software FlexSim.

Además, es importante mencionar que la instalación seleccionada tiene un espacio vacío reservado para futuros planes de desarrollo. Asimismo, Tompkins et al. (2010) en su libro menciona que cuando se trata de tener un diseño completo de la instalación es necesario considerar otras áreas aparte del proceso de producción principal, estos pueden ser oficinas administrativas, baños, comedores, espacios de garaje, etc. El Anexo 44 muestra una recomendación de cada área dentro de la instalación que se desarrollará más adelante.

Análisis económico

Después de desarrollar un diseño correcto de la instalación, es importante saber cuáles serán los costos involucrados para desarrollar este proyecto. En su libro titulado *Economical Engineering*, Blank & Tarquin (2012) mencionan que es importante conocer la inversión inicial de un determinado proyecto, así como el costo variable y fijo. También presentar indicadores importantes para saber cómo se desarrollará el proyecto en términos económicos. Teniendo esto en cuenta, se dividieron todos los costos necesarios para la implementación de la instalación. Los Anexos 45 a 48 muestran todos los costos involucrados que se necesita

obteniendo un total de \$ 6353,93 como inversión inicial, luego para el costo fijo mensual un total de \$ 2462,56 y un costo variable por unidad de \$2,76. En cuanto a los indicadores económicos relacionados con el proyecto se obtiene el ROI del 21,2%, que según Blank & Tarquin (2012) el proyecto es económicamente rentable. Asimismo, se calculó el punto de equilibrio obteniendo un valor de 5802,7 unidades anuales. Por último, se obtuvo el margen de contribución unitaria ponderada final con un valor de 5,09 \$ esto se calculó en base al costo variable para hacer la base de agua y leche.

CONCLUSIONES, LIMITACIONES Y RECOMENDACIONES

El caso de estudio de la empresa de helados artesanales de Montvelo es un plan detallado para la creación de una nueva instalación. El proceso incluye la determinación de la ubicación y el diseño. Para establecer la capacidad de la instalación y tener un estudio más completo, se desarrolló una red logística de sucursales cuyo parámetro clave era la demanda, la cual fue un reto pronosticarla a pesar de la escasez de datos históricos de ventas en las parroquias potenciales. De esta manera, el modelo de difusión de Bass fue una herramienta muy útil para pronosticar la demanda para un año, teniendo en cuenta varios supuestos. De la aplicación del modelo, se obtuvo el pronóstico de la demanda en términos del número de potenciales consumidores en cada punto de venta, esta demanda luego fue transformada en términos de litros de helado para determinar la capacidad con la que debe cumplir la instalación.

Por otro lado, la base de este estudio es el desarrollo de tres propuestas de *layouts* a través de diferentes métodos que se evalúan en términos cuantitativos y cualitativos. El desarrollo del modelo de programación de enteros mixtos dio como resultado un modelo matemático robusto que maximiza el flujo directo de materiales con una calificación de adyacencia de 24634 y minimiza el costo de manejo de materiales al considerar la distancia entre los centroides del departamento. Esto se reforzó mediante el desarrollo de un modelo de simulación FlexSim que se adaptó tanto al modelo actual como a las tres propuestas de diseños desarrolladas para poder analizar también los detalles cuantitativos del sistema. Durante la simulación de los tres modelos propuestos, evaluamos la distancia recorrida entre departamentos durante el proceso con indicadores de desplazamiento de operadores, se obtuvo que con el modelo de MIP el operador recorre una menor distancia mensual de 31,82 km.

Así, se determinó que el plan óptimo para la instalación es que debería estar ubicada en Emilio Obando N-23, al noroeste de Quito, en el sector Calderón. El diseño de la instalación cuenta con 12 departamentos para el procesamiento de helados, algunas de las cuales requieren

maquinaria como pasteurización, homogeneización, congelación, etc. Y la distribución designada para estos departamentos es la desarrollada por el modelo matemático de Programación Entera Mixta (MIP). Es importante mencionar que este es un estudio realizado para un plan que se puede implementar en los próximos 5 a 10 años, así que algunos parámetros pueden cambiar con el tiempo y esto se puede modificar en la planificación presentada.

Algunas de las limitaciones encontradas a lo largo del estudio son:

- Supuestos del modelo de Bass, tomados para la determinación de la demanda de cada punto de venta como el número máximo de clientes a consumir y ventas no repetidas.
- La falta de datos históricos de demanda en potenciales puntos de venta. Por lo cual se utilizó un valor inicial mensual obtenido de las ventas actuales de Montvelo, lo que sirvió como dato base en el modelo de difusión de Bass para pronosticar más periodos.
- Además, solo se dispone de datos del proceso actual de helado, pero no datos sobre los tiempos de procesamiento relacionados con las nuevas máquinas propuestas.

Por último, algunas recomendaciones para estudios posteriores:

- Llevar a cabo estudios de tiempos una vez se cuente con nueva maquinaria, para evaluar correctamente su desempeño.
- Evaluar el rendimiento de las máquinas dentro del proceso y proponer en un futuro la implementación de una máquina adicional.
- Realizar encuestas para obtener información sobre el consumo de helado artesanal en las distintas parroquias de Quito para conocer mejor el comportamiento del mercado.
- Realizar una evaluación del posible aumento de personal dentro de la planta para mejorar el proceso de trabajo.
- Evaluar otros escenarios de producción de acuerdo a demanda pesimista, realista y optimista para ver los requisitos del proceso y los costos de implementación futuros.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmed, R., Raut, L., & Sharma, A. S. (2017). A Review Paper of Various Industrial Material Handling Systems. *Researchgate.Net*, 2(10), 28–31.
https://www.researchgate.net/profile/Laukik-Raut/publication/341980138_A_Review_Paper_of_Various_Industrial_Material_Handling_Systems/links/5edbeaa192851c9c5e8ae72f/A-Review-Paper-of-Various-Industrial-Material-Handling-Systems.pdf
- Ali Naqvi, S. A., Fahad, M., Atir, M., Zubair, M., & Shehzad, M. M. (2016). Productivity improvement of a manufacturing facility using systematic layout planning. *Cogent Engineering*, 3(1). <https://doi.org/10.1080/23311916.2016.1207296>
- Arispe, I., & Tapia, M. S. (2007). Inocuidad y calidad: requisitos indispensables para la protección de la salud de los consumidores. *Agroalimentaria*, 12(24), 105–118.
http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-03542007000100008&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Almena, A., Fryer, P. J., Bakalis, S., & Lopez-Quiroga, E. (2020). Local and decentralised scenarios for ice-cream manufacture: A model-based assessment at different production scales. *Journal of Food Engineering*, 286(April).
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110099>
- Blank, L., & Tarquin, A. (2012). *Ingeniería económica*.
- Borges Vieira, G. B., Pasa, G. S., Borsa, M. B. N. do O., Milan, G. S., & Pandolfo, A. (2011). Materials Handling Management: a Case Study. *Journal of Operations and Supply Chain Management*, 4(2), 19. <https://doi.org/10.12660/joscmv4n2p19-30>
- Boeing, G. (2017). OSMnx: A Python package to work with graph-theoretic OpenStreetMap street networks. *The Journal of Open Source Software*, 2(12), 215.
<https://doi.org/10.21105/joss.00215>
- Carro, R. & Gonzalez, D. (2000). *Administración de las Operaciones*. Nueva Librería.
- Carbache Mora, C. A., Herrera Bartolomé, C., & Talledo Delgado, L. (2020). Estrategias de marketing para fortalecer la imagen de servicio de los helados artesanales del “Charra” en Bahía de Caráquez. *Revista Científica UISRAEL*, 7(2), 121–140.
<https://doi.org/10.35290/rcui.v7n1.2020.277>
- Castellanos R., L. C., Villamil J., L. C., & Romero P., J. R. (2004). Incorporación del Sistema de Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control en la legislación alimentaria. *Revista de Salud Pública*, 6(3), 289–301.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0124-00642004000300005&lng=en&nrm=iso&tlng=es
- Cuatrecasas, L. (2017). *Ingeniería de Procesos y Planta*. Profit Editorial I., S.L. 2017 Travessera de Gràcia, 18; 6o 2a; Barcelona 08021.
<https://todoproyecto.files.wordpress.com/2020/12/ingenieria-de-procesos-y-de-planta-ingenieria-lean-lluis-cuatrecasas.pdf>
- DiFonzo, N., & Bordia, P. (2017). Integrating Automation In An Ice Cream Processing Plant. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 130(2), 556.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jaci.2012.05.050>

- Dominguéz, S. (2019). Optimización del diseño de plantas mediante modelos de programación entera mixta. <https://cimat.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1008/989/1/AGS TE 58.pdf>
- Dutta, D., Sankar Cheela, V. R., Jaglan, A. K., Rani, S., Adibhatla, S., & Dubey, B. (2020). Products, processes, environmental impacts, and waste management of food industry focusing on ice cream. In *Environmental Impact of Agro-Food Industry and Food Consumption*. INC. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821363-6.00008-4>
- Duarte, J., Oritz, N. & Garavito, E. (2005). Modelo Heurístico - Matemático para la localización de instalaciones industriales. *Revista UIS Ingenierías*, 4. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=553756896006>
- Fortune Business Insights. (2022). Ice Cream Market Size, Share | Industry Trends Analysis [2029]. <https://www.fortunebusinessinsights.com/ice-cream-market-104847>
- Fragoso-Castilla, P. J., Prada-Herrera, J. C., Peña-Córdoba, R. E., Herrera-Demares, P. del C., Giraldo-Jaramillo, S., Pedraza- Claros, B., Ruidiaz – Méndez, Y. E., Morales-Lopez, S., & Mejía – Padilla, F. (2020). La Inocuidad de alimentos y su aporte a la seguridad alimentaria. In *News.Ge*.
- Hassan, M. M. D. (2014). A framework for selection of material handling equipment in manufacturing and logistics facilities. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 21(2), 246–268. <https://doi.org/10.1108/17410381011014396>
- HO, N.; NGOOI, S.D.; CHUI, C.K. Optimization of workcell layout for hybrid medical device fabrication. *Journal of Manufacturing Systems*, v. 50, p. 163-179, 2019.
- Instituto de la Ciudad. (2012). Estadísticas del Distrito Metropolitano de Quito. 1–27.
- Leks, D., & Gwiazda, A. (2016). Application of Flexsim for Modelling and Simulation of the Production Process. *Selected Engineering Problems*, 6, 51–56.
- Lilien, G., Rangaswamy, A., & Arnaud, B. (2017). *Principles_of_Marketing_Engineering_and.pdf*.
- Lu, J., Pua, X. H., Liu, C. Te, Chang, C. L., & Cheng, K. C. (2014). The implementation of HACCP management system in a chocolate ice cream plant. *Journal of Food and Drug Analysis*, 22(3), 391–398. <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2013.09.049>
- McKendall, A., & Hakobyan, A. (2021). An application of an unequal-area facilities layout problem with fixed-shape facilities. *Algorithms*, 14(11). <https://doi.org/10.3390/a14110306>
- Mejía Avila, H., & Galofre Vásquez, M. (2008). Aplicación de software de simulación como herramienta en el rediseño de plantas de producción en empresas del sector de alimentos. *Prospectiva*, 6(2), 39–45. <http://repositorio.uac.edu.co/handle/11619/1375>
- Montenegro, L. (2015). Costo del Servicio de transporte de mercadería por km de recorrido para la empresa agromex S.A. *13(3)*, 1576–1580.
- OPS. (2021). OPS/OMS | Justificación e importancia del Sistema HACCP. https://www3.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=10834:2015-justificacion-e-importancia-del-sistema-haccp&Itemid=41432&lang=es#gsc.tab=0
- PwC Asesores Empresariales. (2012). Municipio de Quito Resultados de Estudio de Mercado

– Pre- factibilidad Parque Industrial Itulcachi. 99.

Sapag, N., Sapag, R., & Sapag, J. M. (2014). Preparación y Evaluación de Proyectos.

Stelle Chemim, L., Christine Sotsek, N., & Kleina, M. (2021). Layout optimization methods and tools: A systematic literature review. *Revista Gestão Da Produção Operações e Sistemas*, 16(04), 59–81. <https://doi.org/10.15675/gepros.v16i4.2806>

Stevenson, W. J. (2015). Operations Management. In *Paper Knowledge . Toward a Media History of Documents* (Vol. 3, Issue April).

Suica, O. (2015, July). Metodo de guerchet by Omar Suica Pariona - Issuu. <https://issuu.com/omarsuicapariona/docs/metodo-de-guerchet>

Technavio. (2021). Artisan Ice Cream Market Size, Share, Growth, Trends Industry Analysis Forecast 2026. <https://www.technavio.com/report/artisan-ice-cream-market-industry-analysis>

Tompkins JA, White JA, Bozer YA, Tanchoco JMA (2010) *Facilities planning*, 4th edn. Wiley, New Jersey

ZAWIDZKI, M.; SZKLARSKI, J. Multi-objective optimization of the floor plan of a single story family house considering position and orientation. *Advances in Engineering Software*, v. 141, p. 102766, 2020.

Zubair, M., Maqsood, S., Omair, M., & Noor, I. (2019). Optimization of Material Handling System through Material Handling Equipment Selection. *769 International Journal of Progressive Sciences and Technologies (IJPSAT) ISSN: 2509-0119.*, 15 No. 2 J, 235–243. <http://ijpsat.ijsh-t-journals.org>

**ANEXO 1: FACTORES APLICADOS EN EL MÉTODO DE LA MEDIA EN PUNTOS
PONDERADOS**

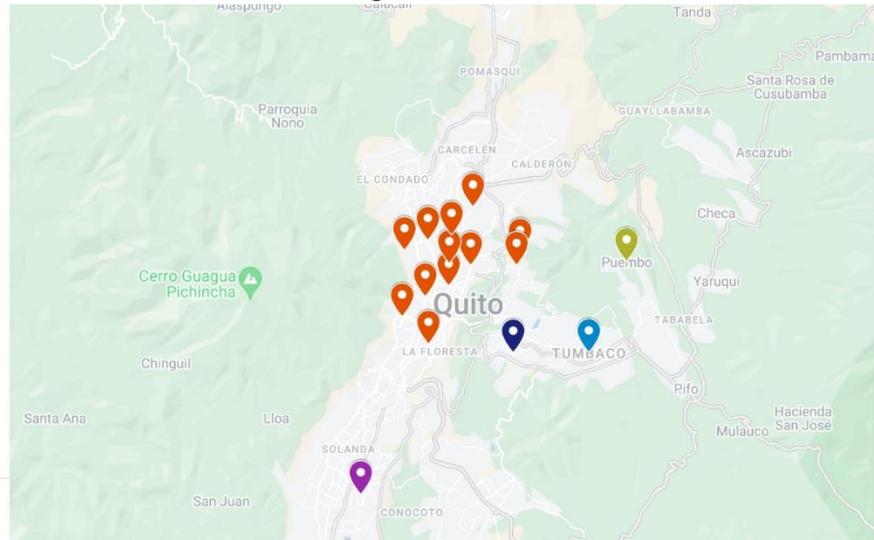
| Factor | Característica | Peso Asignado |
|---------------|------------------------------|----------------------|
| un | Ubicación | 0,2 |
| b | Flexibilidad de adaptaciones | 0,25 |
| c | Forma regular o irregular | 0,1 |
| d | Acceso a proveedores | 0,1 |
| y | Tamaño | 0,15 |
| f | Precio | 0,2 |
| | | 1 |
| | | Total |

**ANEXO 2: MÉTODO DE LA MEDIA DE PUNTOS PONDERADOS PARA LA
POSIBLE INSTALACIÓN**

| Criterios | Factor relevante | a | b | c | d | e | f | Total |
|------------------|-------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|--------------|
| Ubicación 1 | Grado ponderado | 1,2 | 1,25 | 0,5 | 0,8 | 1,2 | 1,2 | 6,15 |
| | Puntuación | 6 | 5 | 5 | 8 | 8 | 6 | 38 |
| Ubicación 2 | Grado ponderado | 1,4 | 2,25 | 0,6 | 0,8 | 1,05 | 1,4 | 7,5 |
| | Puntuación | 7 | 9 | 6 | 8 | 7 | 7 | 44 |
| Ubicación 3 | Grado ponderado | 1,2 | 2 | 1 | 0,8 | 0,45 | 1,6 | 7,05 |
| | Puntuación | 6 | 8 | 10 | 8 | 3 | 8 | 43 |
| Ubicación 4 | Grado ponderado | 1,4 | 2,25 | 1 | 0,8 | 1,05 | 1,8 | 8,3 |
| | Puntuación | 7 | 9 | 10 | 8 | 7 | 9 | 50 |
| Ubicación 5 | Grado ponderado | 1,6 | 2,25 | 0,9 | 0,8 | 1,35 | 1,2 | 8,1 |
| | Puntuación | 8 | 9 | 9 | 8 | 9 | 6 | 49 |
| Ubicación 6 | Grado ponderado | 1,4 | 1,5 | 0,5 | 0,8 | 0,75 | 1,4 | 6,35 |
| | Puntuación | 7 | 6 | 5 | 8 | 5 | 7 | 38 |
| Ubicación 7 | Grado ponderado | 1,2 | 1,75 | 1 | 0,8 | 0,75 | 1,2 | 6,7 |
| | Puntuación | 6 | 7 | 10 | 8 | 5 | 6 | 42 |
| Ubicación 8 | Grado ponderado | 0,4 | 1,25 | 0,5 | 0,4 | 1,2 | 0,4 | 4,15 |
| | Puntuación | 2 | 5 | 5 | 4 | 8 | 2 | 26 |
| Ubicación 9 | Grado ponderado | 1,6 | 1,75 | 0,9 | 0,6 | 0,3 | 1,6 | 6,75 |
| | Puntuación | 8 | 7 | 9 | 6 | 2 | 8 | 40 |
| Ubicación 10 | Grado ponderado | 1,6 | 1,75 | 0,9 | 0,6 | 0,3 | 1,6 | 6,75 |
| | Puntuación | 8 | 7 | 9 | 6 | 2 | 8 | 40 |

ANEXO 3: MAPA DEL ÁREA DEL DISTRITO NORTE-VALLES DE EUGENIO ESPEJO Y QUITO

-  Cochapamba
-  La Concepción
-  Kennedy
-  El Inca
-  Comité del Pueblo
-  Jipijapa
-  Belisario Quevedo
-  Rumipamba
-  Iñaquito
-  Mariscal Sucre
-  Nayón
-  Zámbriza
-  Puembo
-  Tumbaco
-  Sangolquí
-  Cumbayá



ANEXO 4: POBLACIÓN OBJETIVO DE POSIBLES PUNTOS DE VENTA

| Zona (Parroquia y Valles) | Número de habitantes | Habitantes entre 10 y 64 años | Nivel socioeconómico o A, B y C+ | Consumidores frecuentes de helados artesanales |
|--|-------------------------------------|--|---|---|
| Rumipamba | 40778 | 30982 | 11123 | 8687 |
| Iñaquito | 57518 | 44901 | 16119 | 12589 |
| Mariscal Sucre | 16905 | 13214 | 4744 | 3705 |
| La Kennedy | 91250 | 69201 | 24843 | 19403 |
| Cumbayá | 40990 | 31433 | 11284 | 8813 |
| Tumbaco | 49944 | 38123 | 13686 | 10689 |
| Puembo | 22000 | 22000 | 7898 | 6168 |
| Sangolquí | 56794 | 44336 | 15917 | 12431 |

**ANEXO 5: DEMANDA MÁXIMA MENSUAL DE PUNTOS DE VENTA
POTENCIALES**

| Punto de venta | Demanda Máxima |
|-----------------------|---------------------------|
| Rumipamba | 999 |
| Iñaquito | 1455 |
| Mariscal Sucre | 429 |
| La Kennedy | 2246 |
| Cumbayá | 1014 |
| Tumbaco | 1234 |
| Puembo | 710 |
| Sangolquí | 1437 |

ANEXO 6: LATITUD Y LONGITUD DE LOS PUNTOS DE VENTA

| Ciudad | latitud | longitud |
|---------------------------|---------------------|----------------------|
| Rumipamba | -0,1813699999999580 | -78,4922399999999000 |
| Iñaquito | -0,1772261266889190 | -78,4879384928064000 |
| Mariscal Sucre | -0,2020499999999280 | -78,4932699999999000 |
| La Kennedy | -0,2056699999999400 | -78,5088699999999000 |
| Cumbaya | -0,2030599999999360 | -78,4380399999999000 |
| Tumbaco | -0,2136399999999410 | -78,3888599999999000 |
| Puembo | -0,1778299999999710 | -78,3585599999999000 |
| Sangolquí | -0,3071854247885950 | -78,4516047777743000 |
| Calderón (Instalación) | -0,0807599999999411 | -78,4223999999998000 |

ANEXO 7: DISTANCIA EN METROS DE CADA PUNTO DE VENTA

| Parroquia | Distancia desde el establecimiento [m] |
|-----------------------|---|
| 0 Rumipamba | 17212,698 |
| 1 Ñaquito Mariscal | 16323,948 |
| 2 Sucre | 18998,064 |
| 3 La Kennedy | 20334,47 |
| 4 Cumbaya | 25246,852 |
| 5 Tumbaco | 28668,308 |
| 6 Puembo | 36016,531 |
| 7 Sangolquí | 38286,344 |
| 8 Calderón (cd) | 0 |

ANEXO 8: COSTO POR KILÓMETRO PARA CADA PUNTO DE VENTA**Cadenas de Suministro Costo por kilómetro**

| | |
|----------------------|---------|
| Rumipamba | \$ 1,21 |
| Iñaquito | \$ 1,21 |
| Mariscal Sucre | \$ 1,21 |
| La Kennedy | \$ 1,21 |
| Cumbayá | \$ 1,21 |
| Tumbaco | \$ 1,21 |
| Puembo | \$ 1,21 |
| Valle de los Chillos | \$ 1,21 |

ANEXO 9: COSTO POR KILÓMETRO PARA CADA PUNTO DE VENTA

| Cadenas de suministro | Costo de alquiler |
|------------------------------|--------------------------|
| Rumipamba | \$ 500,00 |
| Iñaquito | \$ 500,00 |
| Mariscal Sucre | \$ 400,00 |
| La Kennedy | \$ 450,00 |
| Cumbayá | \$ 379,00 |
| Tumbaco | \$ 450,00 |
| Puembo | \$ 490,00 |
| Sangolquí | \$ 500,00 |

ANEXO 10: BENCHMARKING DE HELADERÍAS EN QUITO

| Heladerías | Número de puntos de venta |
|------------------------------------|--|
| Helados de Paila Rosalia Suarez | 7 |
| Cuxara Heladeria Artesanal | 2 |
| Peso ligero | 2 |
| Por serggio Heladeria | 3 |
| Todo frío | 4 |
| Heidy Heladeria | 17 |
| | 6 |
| | Total |

ANEXO 11: ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

| Escenario | Punto de Venta | Parámetros |
|-----------|---|----------------|
| 1 | KEN | Min: 1 y Max:1 |
| 2 | KEN, INA | Min:1 y Max:2 |
| 3 | KEN, INA, TUM | Min:1 y max:3 |
| 4 | KEN, INA, TUM, CUM | Min:1 y max:4 |
| 5 | KEN, INA, TUM, CUM, RON | Min:1 y max:5 |
| 6 | KEN, INA, TUM, CUM, RON, SAN | Min:1 y max:6 |
| 7 | KEN, INA, TUM, CUM, RON, SAN, PUM | Min:1 y max:7 |
| 8 | KEN, INA, TUM, CUM, RON, SAN, PUM, MAR | Min:1 y Max: 8 |

**ANEXO 12: RESOLUCIÓN OBTENIDA EN AMPL DE LOS PUNTOS DE
VENTA SELECCIONADOS**

```
AMPL: include RedN.run;
CPLEX 20.1.0.0: optimal integer solution; objective 15213.098
0 MIP simplex iterations
0 branch-and-bound nodes
Utilidad = 15213.1

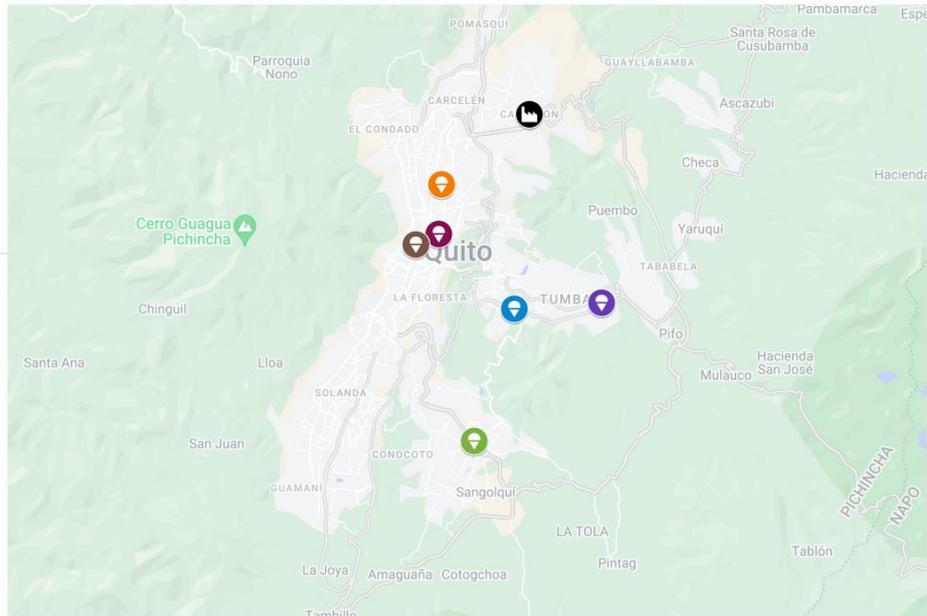
y [*] :=
CUM 1
INA 1
KEN 1
MAR 0
PUM 0
RUM 1
SAN 1
TUM 1
;
```

ANEXO 13: DISEÑO DE LA RED LOGÍSTICA

Montvelo

Shops

-  Rumipamba
-  Iñaquito
-  Cumbaya
-  Kennedy
-  Tumbaco
-  Calderón
-  Sangolquí



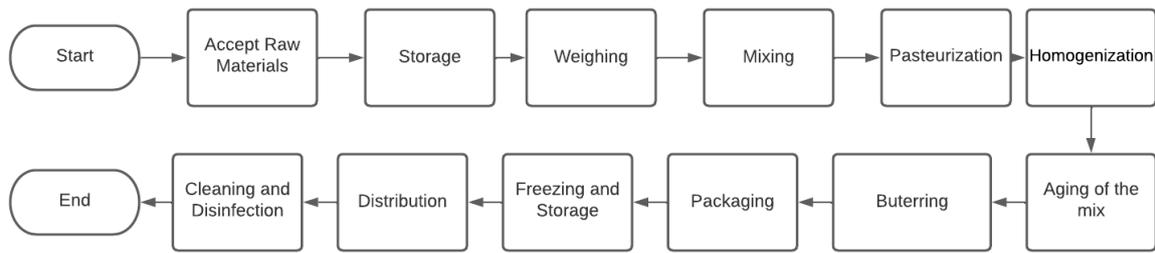
**ANEXO 14: SABORES DE HELADO DE LA HELADERÍA ARTESANAL
MONTVELO**

Sabores de helado

- 1 Alfajor
 - 2 Almendra
 - 3 Cerezo ácido
 - 4 Avellana
 - 5 Cappucino
 - 6 Chicle
 - 7 Chocobanana
 - 8 Chocolate
 - 9 Chocomenta
 - 10 Frutilla
 - 11 Guanábana
 - 12 Limón
 - 13 Mandarina
 - 14 Manjar con Chispas
 - 15 Manzana al Horno
 - 16 Maracuyá
 - 17 Pesadilla
 - 18 Naranjila
 - 19 Oreo
 - 20 Pistacho
 - 21 Ron pasas
 - 22 Straciatella
 - 23 Impuesto
 - 24 Vainilla
-

ANEXO 15: MATERIAS PRIMAS PARA HELADOS BASADAS EN SU CATEGORÍA Y ESPECIFICACIÓN.

| | Categoría | Especificación | Ingrediente utilizado |
|---|---------------------------|--|--|
| 1 | Agua | Componente líquido clave para helado de agua. | Agua. |
| 2 | Gordo | Se deriva de fuentes lácteas, aporta cremosidad al helado. | Leche, crema de leche. |
| 3 | Sólidos lácteos sin grasa | Contiene proteínas, vitaminas, lactosa y otros componentes que aportan efectos sobre la circulación del aire en el helado. | Leche en polvo, Leche condensada. |
| 4 | Colores | Se añaden colores artificiales y naturales. | Esencia de menta y chicle. |
| 5 | Sabores | El uso de pulpa de fruta fresca para dar el toque artesanal. | Diferentes sabores de pulpa de fruta, a barras de chocolate. |
| 6 | Edulcorantes | El azúcar es el componente que aporta textura y sabor al helado. | Azúcar, dextrosa y maltodextrina. |
| 7 | Emulsificantes | Actúa sobre la grasa del helado. Facilita la mezcla de moléculas de grasa y agua. | Pregel. |
| 8 | Estabilizadores | Une las moléculas de agua y ayuda a estabilizar la estructura del helado. | Goma, xantano y CMC |

ANEXO 16: PROCESO DE PRODUCCIÓN ACTUAL DE MONTVELO.

**ANEXO 17: EQUIPO Y UTENSILIOS UTILIZADOS EN LAS INSTALACIONES
ACTUALES DE MONTVELO.**

| Proceso | Equipos y utensilios utilizados |
|--------------------------------|--|
| 1. Aceptar materias primas | Todos los materiales utilizados para el helado; El saborizante de la fruta se realiza en un procesador de alimentos. |
| 2. Almacenamiento | Pequeño almacén de cocina. |
| 3. Pesaje | Báscula para pesaje. |
| 4. Mezclar los ingredientes | Pequeño pie Mezclador. |
| 5. Pasteurización | Ascensor eléctrico/de gas. |
| 6. Homogeneización | Mezclar en una olla. |
| 7. Envejecimiento de la mezcla | Poner la olla en una nevera. |
| 8. Mantecado | Pequeña máquina de mantecado |
| 9. Embalaje | Bandejas de helado de hasta 4 litros. |
| 10. Congelación | Congelador de cocina. |
| 11. Distribución | Las bandejas de helado son transportadas a Cumbaya. |
| 12. Limpieza y desinfección | Utensilios de limpieza de cocina como trapeadores, toallas de papel y un fregadero de cocina. |

**ANEXO 18: EQUIPO Y UTENSILIOS NECESARIOS PARA LA NUEVA
INSTALACIÓN DE PRODUCCIÓN ARTESANAL DE HELADOS.**

| Proceso | Equipos y utensilios utilizados |
|--------------------------------|--|
| 1. Aceptar materias primas | Todos los materiales utilizados para el helado; aromatizante de pulpa de fruta. |
| 2. Almacenamiento | Salas de almacenamiento para materias primas sólidas y líquidas. |
| 3. Pesaje | Báscula para pesaje. |
| 4. Mezclar los ingredientes | Mezclador industrial. |
| 5. Pasteurización | Máquina de pasteurización. |
| 6. Homogeneización | Máquina de homogeneización. |
| 7. Envejecimiento de la mezcla | Cubas de envejecimiento. |
| 8. Mantecado | Máquina de mantecado. |
| 9. Embalaje | Máquina de embalaje. |
| 10. Congelación | Sala de congelación. |
| 11. Distribución | Paquetes de helados para ser distribuidos a todos los puntos de venta. |
| 12. Limpieza y desinfección | Zona de limpieza con un fregadero grande y espacio para poner las bandejas de helados. |

**ANEXO 19: EQUIVALENCIA DE PRODUCTOS A BASE DE HELADOS EN BOLAS
Y LITROS DE HELADO.**

| SKU | Bolas de helado | Litros de helado |
|------------------------|------------------------|-------------------------|
| Cono doble artesanal | 2 | 0,2 |
| Cono simple artesanal | 1 | 0,1 |
| Cono doble de galleta | 2 | 0,2 |
| Cono simple de galleta | 1 | 0,1 |
| Helado litro | 10 | 1 |
| Helado medio litro | 5 | 0,5 |
| Batido | 2 | 0,2 |
| Mini cono | 0,5 | 0,05 |
| Mini cono doble | 1 | 0,1 |
| Porción de helado | 1 | 0,1 |
| Tulipán simple | 1 | 0,1 |
| Tulipán doble | 2 | 0,2 |
| Tulipán triple | 3 | 0,3 |
| Taza simple | 1 | 0,1 |
| Copa doble | 2 | 0,2 |
| Copa triple | 3 | 0,3 |

ANEXO 20: PREVISIÓN DE DEMANDA POR PUNTO DE VENTA.**Punto de venta**

| Mes | Cu mb ayá | Iñaquit o | Ken ned y | Sango lquí | Tumba co | Rumi pamb a | Total de consu midore s por mes | Total de litros de helado por mes | |
|-----------|-----------------|--------------|-----------------|---------------|-------------|-------------------|--|--|---|
| 0 | 189 | 189 | 189 | 189 | 189 | 189 | 1134 | 342 | |
| 1 | 374 | 507 | 745 | 343 | 440 | 370 | 2628 | 839 | |
| 2 | 494 | 673 | 993 | 452 | 583 | 488 | 3481 | 1112 | |
| 3 | 634 | 868 | 1289 | 579 | 751 | 626 | 4481 | 1433 | |
| 4 | 782 | 1080 | 1613 | 712 | 930 | 772 | 5549 | 1778 | |
| 5 | 916 | 1277 | 1925 | 830 | 1096 | 904 | 6532 | 2097 | |
| 6 | 1003 | 1418 | 2160 | 905 | 1210 | 989 | 7209 | 2320 | |
| 7 | 1014 | 1455 | 2246 | 909 | 1234 | 999 | 7354 | 2372 | -> Demanda máxima en un mes |
| 8 | 934 | 1364 | 2137 | 833 | 1148 | 920 | 6852 | 2215 | |
| 9 | 780 | 1160 | 1845 | 691 | 969 | 767 | 5792 | 1876 | |
| 10 | 592 | 895 | 1446 | 521 | 743 | 582 | 4451 | 1443 | |
| 11 | 414 | 634 | 1037 | 362 | 523 | 406 | 3142 | 1019 | |
| 12 | 271 | 419 | 692 | 236 | 344 | 266 | 2072 | 672 | |

ANEXO 21: MATERIALES Y MÁQUINAS UTILIZADAS EN EL DISEÑO DE LA NUEVA INSTALACIÓN.

| Departamentos | | Objetos estáticos |
|----------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| A1 | Recepción de materiales | Mesa de acero |
| | | Estanterías ligeras |
| A2 | Almacenamiento | Mesa de acero |
| | | Congelador |
| | | Estantes congelados |
| A3 | Pesaje | Rack frío |
| | | Estanterías ligeras |
| | | Mesa de preparación |
| A4 | Mezcla | Máquina de pesaje |
| | | Licuada de 15L |
| | | Licuada de 15L |
| A5 | Pasteurización | Purificar |
| | | Mesa de acero |
| | | Mesa pequeña de acero |
| A6 | Homogeneización | Pasteurizador |
| | | Mesa pequeña de acero |
| | | Homogeneización |
| A7 | Envejecimiento de la mezcla | Máquina de maduración |
| | | Mesa pequeña de acero |
| | | Mesa pequeña de acero |
| A8 | Mantequilla | Mantequilla |
| | | Mesa pequeña de acero |
| | | Máquina de llenado de envases |
| A9 | Embalaje | Mesa de acero |
| | | Rejilla |
| | | Rejilla |
| A10 | Congelación | Rejilla |
| | | Pallet |
| | | Pallet |
| R11 | Distribución | Pallet |
| | | Pallet |
| | | Mesa de acero |
| A12 | Limpieza y Desinfección | Fregadero de acero |
| | | Mesa de acero |

**ANEXO 22: ANÁLISIS HACCP SOBRE EL PROCESO DEL HELADO
ARTESANAL.**

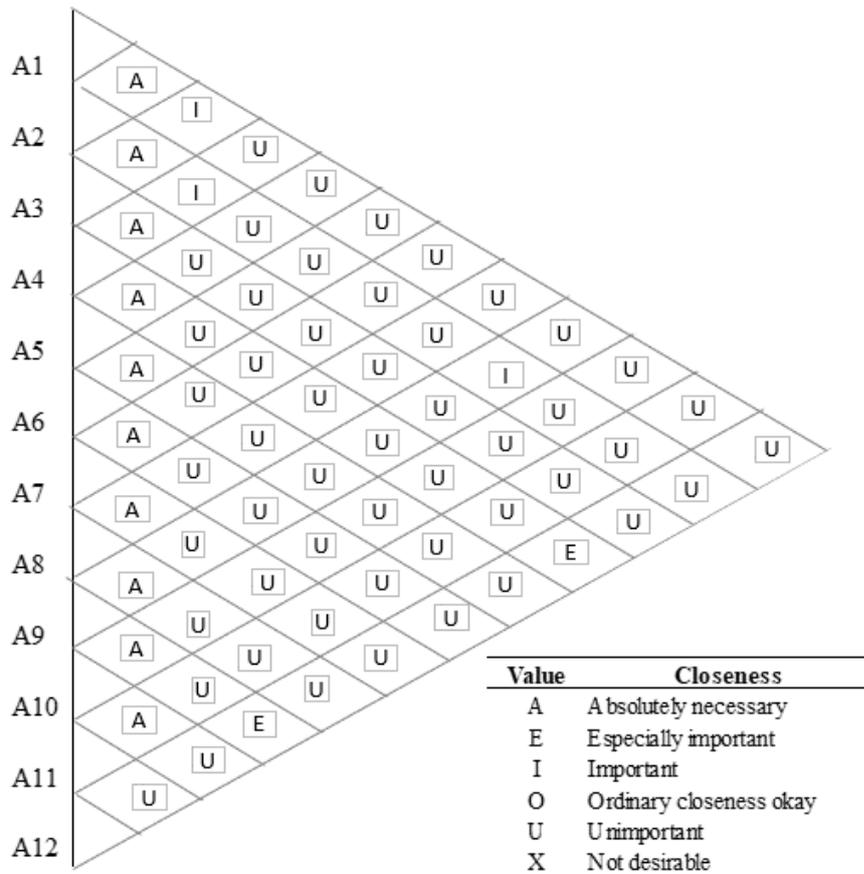
| | Proceso técnico | Significativo o no | Criterios de juicio | Medidas de prevención y control |
|---|--------------------------|---------------------------|--|--|
| 1 | Aceptar materias primas | Sí | Proveedores inadecuados en el proceso, almacenamiento y distribución técnica. | 1. Demanda de licencia comercial e inspección del proveedor. 2. El área para aceptar materias primas debe dividirse en tres secciones y área de inspección de calidad, devolución del producto y ubicación previa para el almacenamiento. El espacio de almacenamiento debe dividirse en tres áreas, almacenamiento para materias primas sólidas, almacenamiento para materiales líquidos que se congelan a altas temperaturas, almacenamiento fo materiales líquidos que necesitan un punto de congelación menor. |
| 2 | Almacenamiento | Sí | Las materias primas líquidas y sólidas se encuentran en el espacio incorrecto, donde la temperatura no es la correcta. | |
| 3 | Pesaje | No | Traído por el almacenamiento del proveedor y la temperatura de alimentación y esterilización inadecuadas. La temperatura de alimentación inadecuada y la esterilización en la cuba de mezcla pueden provocar contaminación por microorganismos. | Limpieza y desinfección de los utensilios utilizados en el pesaje. |
| 4 | Mezclar los ingredientes | Sí | | La cuba mezcladora debe limpiarse y esterilizarse por adelantado para garantizar que no quede ningún patógeno. |
| 5 | Pasteurización | Sí | Pasteurización y homogeneización inadecuadas. | Control estricto del tiempo de pasteurización y homogeneización, así como de la temperatura y limpieza de la instalación. |
| 6 | Homogeneización | | | |

| | | | | |
|----|-----------------------------|----|--|--|
| 7 | Envejecimiento de la mezcla | Sí | El sellado inadecuado de las instalaciones puede provocar contaminación. | Controle estrictamente las condiciones de envejecimiento, mantenga las instalaciones relevantes limpias y selladas. Control estricto del tiempo de proceso de enmantequillado, la temperatura y la limpieza de la instalación. |
| 8 | Mantequilla | Sí | Proceso de mantecación inadecuado. | Limpieza y desinfección adecuada de la máquina. |
| 9 | Embalaje | Sí | Otros fluidos que se escapan de la máquina. | Mantenga la habitación completamente sellada y limpia. |
| 10 | Congelación | Sí | El sellado inadecuado de las instalaciones puede provocar contaminación. | Control del paquete antes de la distribución. |
| 11 | Distribución | Sí | El paquete está sellado incorrectamente. | Control estricto en el proceso de limpieza de los utensilios en esta zona. |
| 12 | Limpieza y desinfección | Sí | Limpieza inadecuada de los utensilios. | |

ANEXO 23: MATRIZ DE PRIORIZACIÓN.

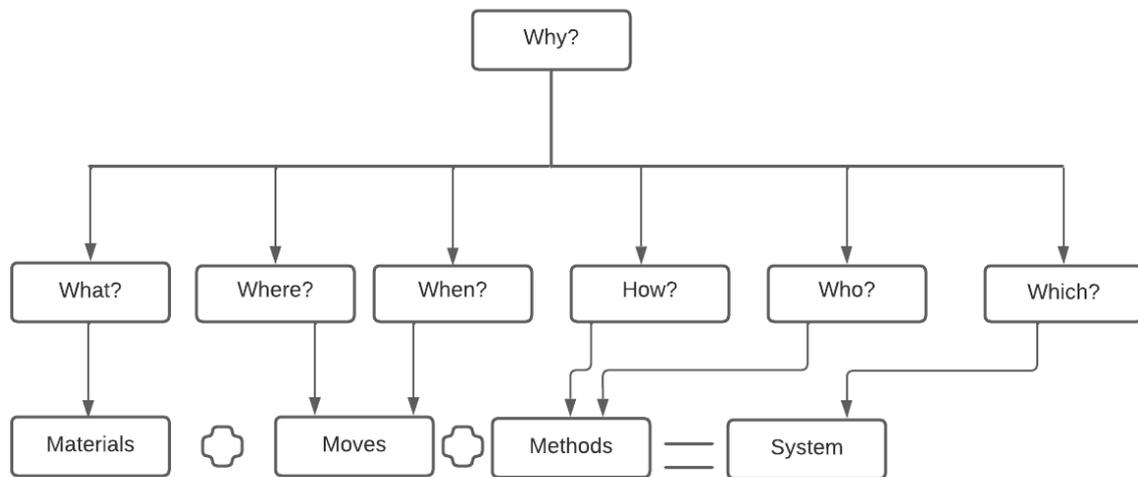
| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | Total | Importancia % |
|--------------|------|------|------|------|------|----|-----|------|------|-----|-----|-------|---------------|
| A | 1 | 5 | 5 | 0,2 | 10 | 10 | 1 | 1 | 1 | 5 | 1 | 40,2 | 12,66% |
| B | 0,2 | 1 | 1 | 0,2 | 5 | 5 | 0,2 | 1 | 0,1 | 0,2 | 0,1 | 14 | 4,41% |
| C | 0,2 | 1 | 1 | 0,1 | 0,2 | 5 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 0,2 | 8,3 | 2,61% |
| D | 5 | 5 | 10 | 1 | 5 | 5 | 0,2 | 1 | 0,2 | 0,1 | 0,2 | 32,7 | 10,30% |
| E | 0,1 | 0,2 | 5 | 0,2 | 1 | 5 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 12,5 | 3,94% |
| F | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 1 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 0,2 | 2,7 | 0,85% |
| G | 1 | 5 | 10 | 5 | 5 | 10 | 1 | 5 | 1 | 0,2 | 1 | 44,2 | 13,92% |
| H | 1 | 1 | 5 | 1 | 10 | 10 | 0,2 | 1 | 1 | 0,2 | 1 | 31,4 | 9,89% |
| I | 1 | 10 | 5 | 5 | 5 | 5 | 1 | 1 | 1 | 0,2 | 0,2 | 34,4 | 10,83% |
| J | 0,2 | 5 | 10 | 10 | 5 | 10 | 5 | 5 | 5 | 1 | 1 | 57,2 | 18,01% |
| K | 1 | 10 | 5 | 5 | 5 | 5 | 1 | 1 | 5 | 1 | 1 | 40 | 12,59% |
| Total | 10,8 | 43,4 | 57,2 | 27,9 | 51,4 | 71 | 10 | 16,6 | 14,9 | 8,3 | 6,1 | 317,6 | |

ANEXO 24: DIAGRAMA CUALITATIVO DE RELACIONES DE FLUJO.



ANEXO 26: FLUJO CUANTITATIVO DESDE EL GRÁFICO HASTA EL GRÁFICO.

| Departamentos | Objetos | Longi | Ancho | Alto | Lyng | Ancho | Alto | Área | Área | # | Holgura | N | c | Largo | Ancho |
|---------------|--------------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|---|---------|---|--------|-------|-------|
| A1 | Mesa de | 112 | 60 | 90 | 1,12 | 0,6 | 0,9 | 0,672 | 2,473 | 6 | 8,230 | 1 | 10,702 | 3,271 | 3,271 |
| | Estantería | 180 | 25 | 200 | 1,8 | 0,25 | 2 | 0,45 | | | | | | | |
| | Mesa de | 112 | 60 | 90 | 1,12 | 0,6 | 0,9 | 0,672 | | | | | | | |
| | Congelador | 83,3 | 81,5 | 52,5 | 0,833 | 0,815 | 0,525 | 0,678 | | | | | | | |
| A2 | Estantes | 240 | 90 | 400 | 2,4 | 0,9 | 4 | 2,16 | 4,770 | 6 | 10,973 | 1 | 15,743 | 3,968 | 3,968 |
| | Estantes | 240 | 90 | 400 | 2,4 | 0,9 | 4 | 2,16 | | | | | | | |
| | Estantería | 180 | 25 | 200 | 1,8 | 0,25 | 2 | 0,45 | | | | | | | |
| | Preparación | 50 | 44 | 80 | 0,5 | 0,44 | 0,8 | 0,22 | | | | | | | |
| A3 | Pesaje | 150 | 150 | 15 | 1,5 | 1,5 | 0,15 | 2,25 | 2,470 | 2 | 2,286 | 2 | 4,756 | 2,181 | 2,181 |
| | Licudora | 40 | 44 | 114 | 0,4 | 0,44 | 1,14 | 0,176 | | | | | | | |
| | Licudora | 40 | 44 | 114 | 0,4 | 0,44 | 1,14 | 0,176 | | | | | | | |
| | Purificador | 51 | 76 | 127 | 0,51 | 0,76 | 1,27 | 0,387 | | | | | | | |
| A4 | Mesa de | 112 | 60 | 90 | 1,12 | 0,6 | 0,9 | 0,672 | 1,412 | 0 | 0,000 | 4 | 8,088 | 2,844 | 2,844 |
| | Mesita | 80 | 80 | 95 | 0,8 | 0,8 | 0,95 | 0,64 | | | | | | | |
| | Pasteurizaci | 65 | 88 | 138 | 0,65 | 0,88 | 1,38 | 0,572 | | | | | | | |
| | Mesita | 80 | 80 | 95 | 0,8 | 0,8 | 0,95 | 0,64 | | | | | | | |
| A6 | Homogenei | 125 | 205 | 121 | 1,25 | 2,05 | 1,21 | 2,562 | 3,203 | 0 | 0,000 | 2 | 9,175 | 3,029 | 3,029 |
| | zación | 197 | 160 | 197 | 1,97 | 1,6 | 1,97 | 2,009 | | | | | | | |
| | Envejecimie | 80 | 80 | 95 | 0,8 | 0,8 | 0,95 | 0,64 | | | | | | | |
| | nto de la | 80 | 80 | 95 | 0,8 | 0,8 | 0,95 | 0,64 | | | | | | | |
| A7 | mezcla | 80 | 80 | 95 | 0,8 | 0,8 | 0,95 | 0,64 | 2,650 | 1 | 2,650 | 2 | 13,755 | 3,709 | 3,709 |
| | Maduración | 197 | 160 | 197 | 1,97 | 1,6 | 1,97 | 2,009 | | | | | | | |
| | Mesita | 80 | 80 | 95 | 0,8 | 0,8 | 0,95 | 0,64 | | | | | | | |
| | Mesita | 80 | 80 | 95 | 0,8 | 0,8 | 0,95 | 0,64 | | | | | | | |
| A8 | Mantequilla | 50 | 73 | 140 | 0,5 | 0,73 | 1,4 | 0,365 | 1,005 | 0 | 0,000 | 2 | 2,879 | 1,697 | 1,697 |
| | Embalaje | 98 | 30 | 95 | 0,98 | 0,3 | 0,95 | 0,294 | | | | | | | |
| | Mesa de | 112 | 60 | 52,5 | 1,12 | 0,6 | 0,525 | 0,672 | | | | | | | |
| | Mantequilla | 50 | 73 | 140 | 0,5 | 0,73 | 1,4 | 0,365 | | | | | | | |
| A9 | Embalaje | 98 | 30 | 95 | 0,98 | 0,3 | 0,95 | 0,294 | 0,966 | 1 | 0,966 | 3 | 8,303 | 2,881 | 2,881 |
| | Mesa de | 112 | 60 | 52,5 | 1,12 | 0,6 | 0,525 | 0,672 | | | | | | | |
| | Rejilla | 240 | 90 | 400 | 2,4 | 0,9 | 4 | 2,16 | | | | | | | |
| | Rejilla | 240 | 90 | 400 | 2,4 | 0,9 | 4 | 2,16 | | | | | | | |
| A10 | Congelación | 240 | 90 | 400 | 2,4 | 0,9 | 4 | 2,16 | 6,480 | 6 | 10,973 | 1 | 17,453 | 4,178 | 4,178 |
| | Rejilla | 240 | 90 | 400 | 2,4 | 0,9 | 4 | 2,16 | | | | | | | |
| | Rejilla | 240 | 90 | 400 | 2,4 | 0,9 | 4 | 2,16 | | | | | | | |
| | Pallet | 120 | 100 | 15 | 1,2 | 1 | 0,15 | 1,2 | | | | | | | |
| R11 | Distribución | 120 | 100 | 15 | 1,2 | 1 | 0,15 | 1,2 | 4,272 | 6 | 5,486 | 3 | 9,758 | 3,124 | 3,124 |
| | Pallet | 120 | 100 | 15 | 1,2 | 1 | 0,15 | 1,2 | | | | | | | |
| | Pallet | 120 | 100 | 15 | 1,2 | 1 | 0,15 | 1,2 | | | | | | | |
| | Mesa de | 112 | 60 | 90 | 1,12 | 0,6 | 0,9 | 0,672 | | | | | | | |
| A12 | Limpieza y | 140 | 55 | 85 | 1,4 | 0,55 | 0,85 | 0,77 | 1,442 | 2 | 2,134 | 1 | 3,576 | 1,891 | 1,891 |
| | desinfecció | 140 | 55 | 85 | 1,4 | 0,55 | 0,85 | 0,77 | | | | | | | |
| | Mesa de | 112 | 60 | 90 | 1,12 | 0,6 | 0,9 | 0,672 | | | | | | | |
| | Mesa de | 112 | 60 | 90 | 1,12 | 0,6 | 0,9 | 0,672 | | | | | | | |

ANEXO 27: ECUACIÓN DE MANIPULACIÓN DE MATERIALES.

Ecuación de manejo de materiales (Tompkins et al. 2010)

ANEXO 28: ECUACIÓN DE MANEJO DE MATERIALES A TRAVÉS DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE MONTVELO EN LA NUEVA INSTALACIÓN.

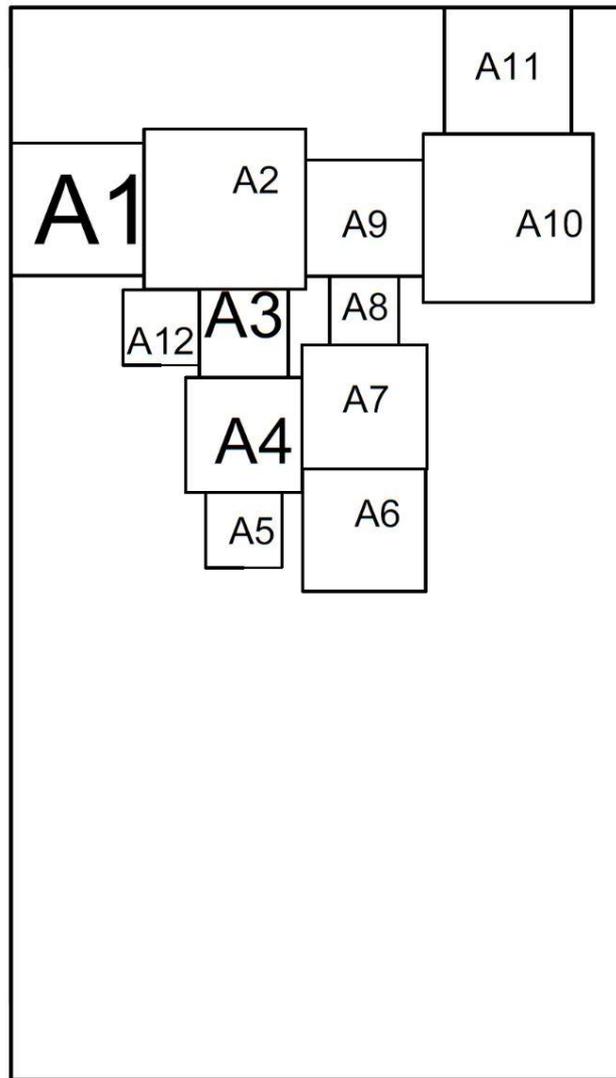
| | Tipo de pregunta | Respuesta |
|----------|--|---|
| ¿Qué? | ¿Qué tipo de materiales se van a mover? | Considere como una instalación de producción de alimentos, se moverá la materia prima para la producción de helados, pero también utensilios como bandejas de helado de la batidora y paquetes. |
| ¿Dónde? | ¿Dónde está el material, almacenado, entregado y recibido? | Todos los productos se reciben en el área de materia prima aceptada y luego se almacenan dependiendo de si son ingredientes sólidos o ingredientes líquidos. |
| ¿Cuándo? | ¿Cuándo se debe mover el material? | Que los materiales dentro de la instalación se movilizan de acuerdo con los requisitos de producción en cada paso del proceso de helado. |
| ¿Cómo? | ¿Cómo se mueve, almacena y entrega el material? | Las materias primas se almacenan en espacios diseñados para mantener la temperatura correcta para preservar el material y evitar la espiración. Además, el producto final se almacena en el congelador a la temperatura correcta para conservarlo en frescura y luego se entrega. |
| ¿Quién? | ¿Quién maneja el material? | Los operadores manejan todo el material dentro de la instalación y constantemente durante todo el proceso. |
| ¿Cuál? | ¿Qué tipo de manejo de materiales se debe considerar? | El tipo de manipulación de materiales considerado es manual, que es dado uno por una persona, pero también el uso de equipos móviles ubicados al lado de la máquina en cada parte del proceso. |

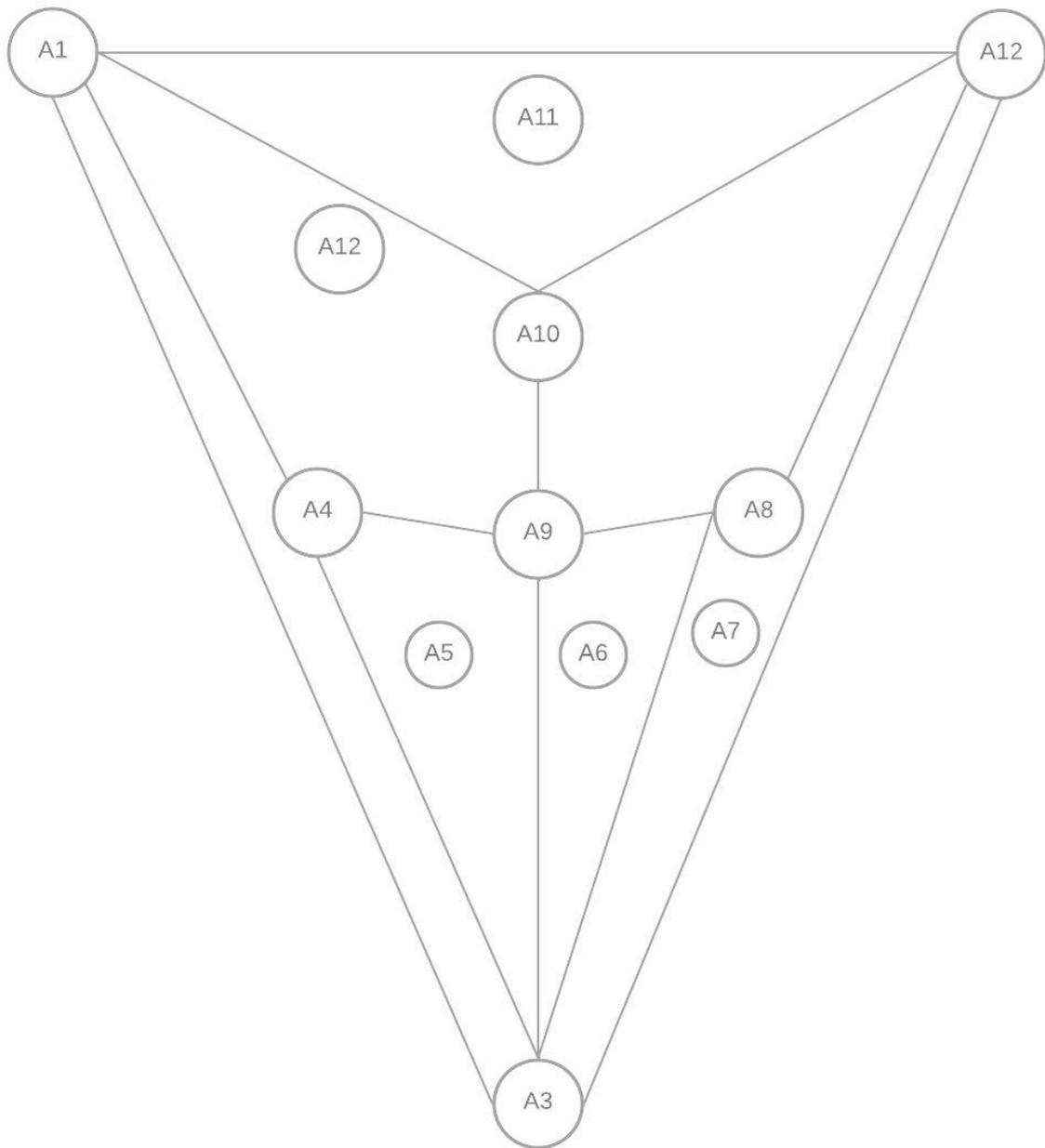
**ANEXO 29: RESULTADOS AMPL DE LAS COORDENADAS DE LOS
CENTROIDES PARA CADA DEPARTAMENTO.**

```
ampl: include plantaG.run;
XPRESS 8.13.1(39.01.02): Global search complete
Best integer solution found 81408.555
23 integer solutions have been found
675662 branch and bound nodes
No basis.
z = 81408.6

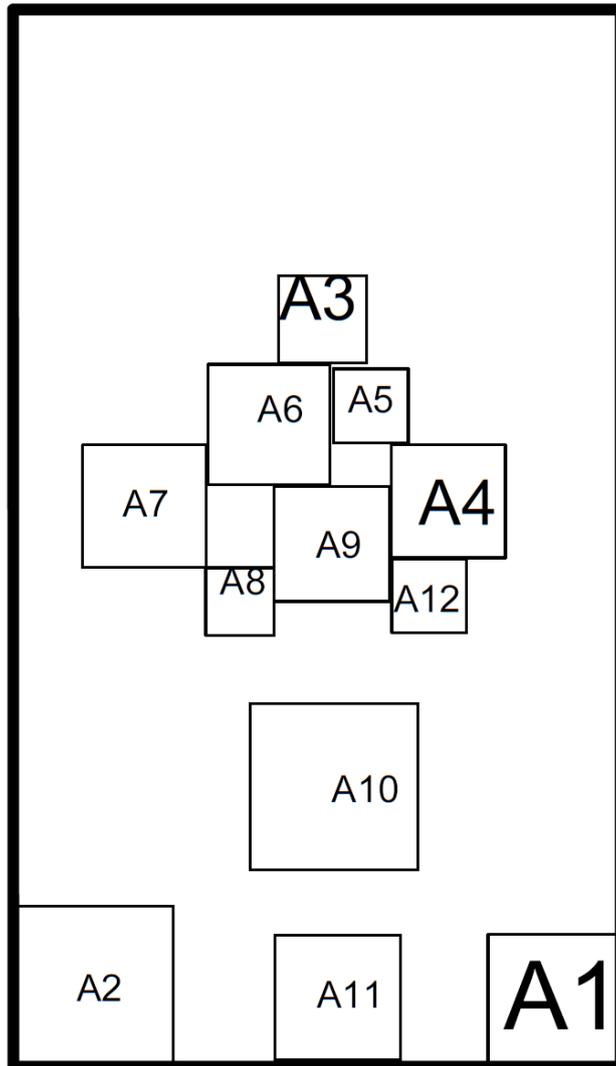
:      xi      yi      :=
1      4.985    1.635
2      4.985    5.25
3      8.055    5.715
4     10.565    5.715
5     12.915    5.715
6     12.915    8.67
7      9.87     8.67
8      7.49     8.67
9      5.205    8.67
10     5.205    12.195
11     1.56     12.195
12     7.91     3.68
;
```

ANEXO 30: LAYOUT MIP.

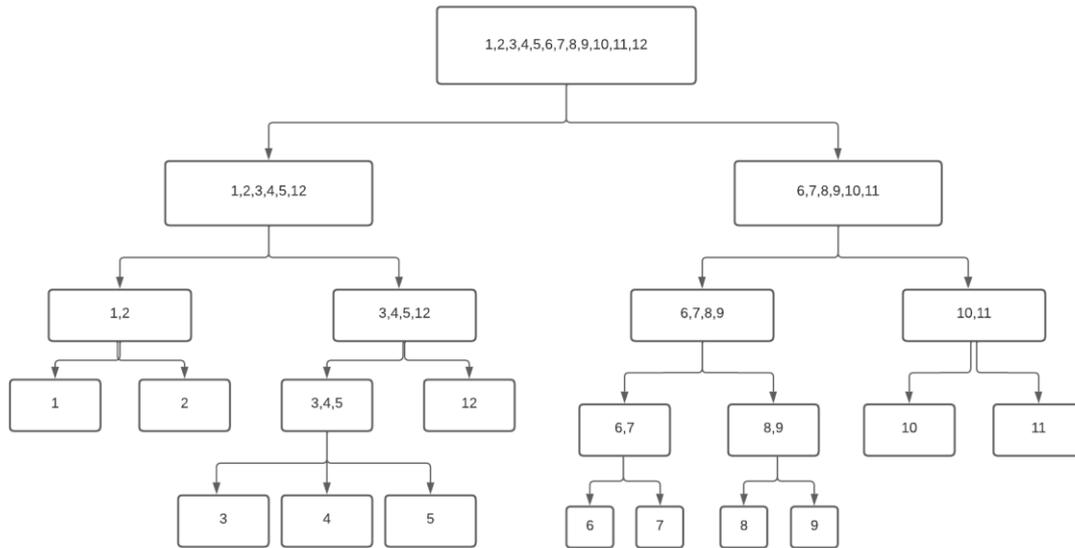


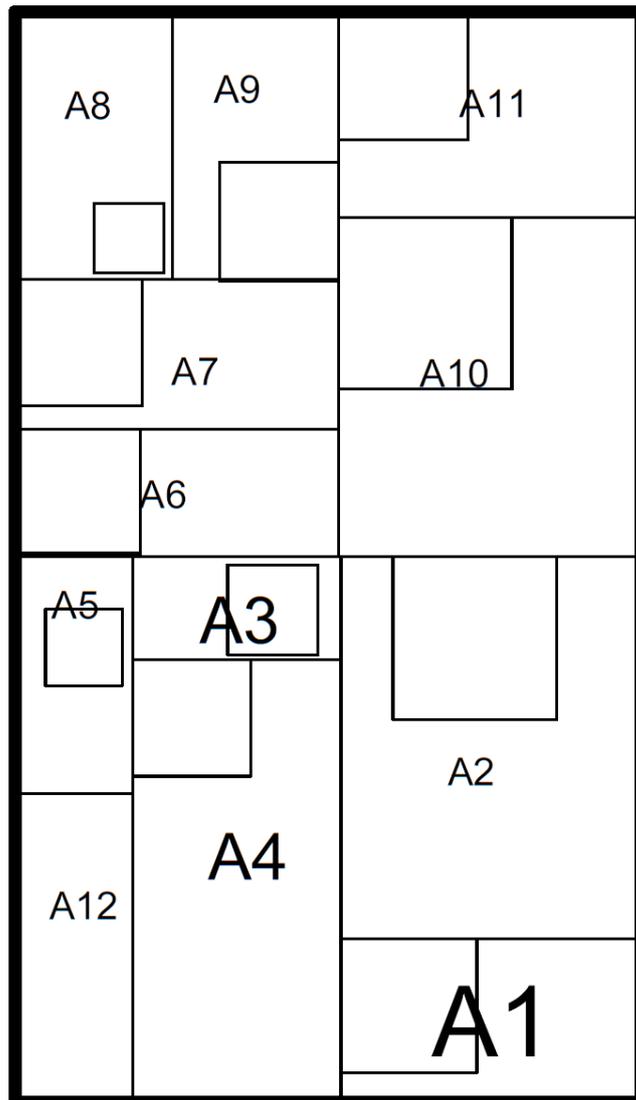
ANEXO 31: PROCEDIMIENTO MÉTODO GRÁFICO.

ANEXO 32: LAYOUT MÉTODO GRÁFICO.



ANEXO 33: MÉTODO LOGIC.



ANEXO 34: LAYOUT MÉTODO LOGIC.

ANEXO 36: MÉTODO DE GRÁFICO DE MATRIZ DE ADYACENCIA

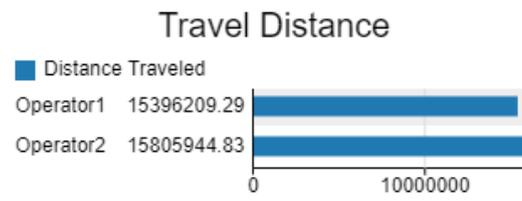
Método gráfico

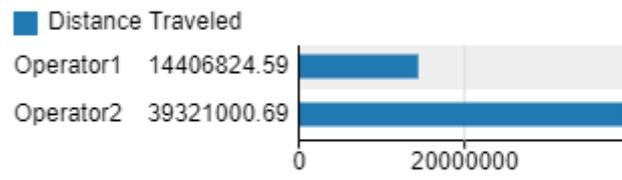
| | A1 | A2 | A3 | A4 | A5 | A6 | A7 | A8 | A9 | A10 | R11 | A12 |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|
| A1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| A5 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A6 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| A7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| A9 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| A10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| R11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A12 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |

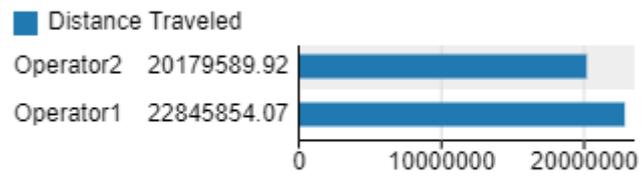
ANEXO 37: MÉTODO LOGIC DE MATRIZ DE ADYACENCIA

LÓGICA

| | A1 | A2 | A3 | A4 | A5 | A6 | A7 | A8 | A9 | A10 | R11 | A12 |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|
| A1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| A3 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A4 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| A5 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| A6 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| A7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| A8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| A9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| A10 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| R11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| A12 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

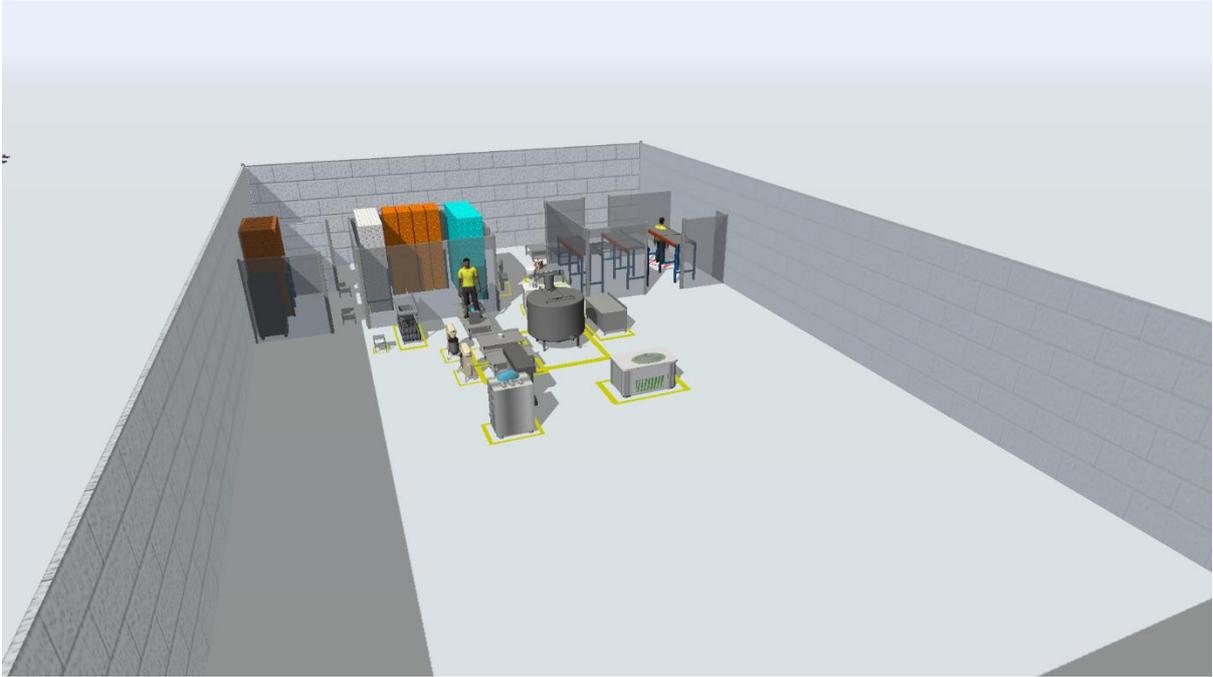
ANEXO 38: MIP DISTANCE DASHBOARD MODELO FLEXSIM.

ANEXO 39: TABLERO DE DISTANCIA GRÁFICA MODELO FLEXSIM.**Travel Distance**

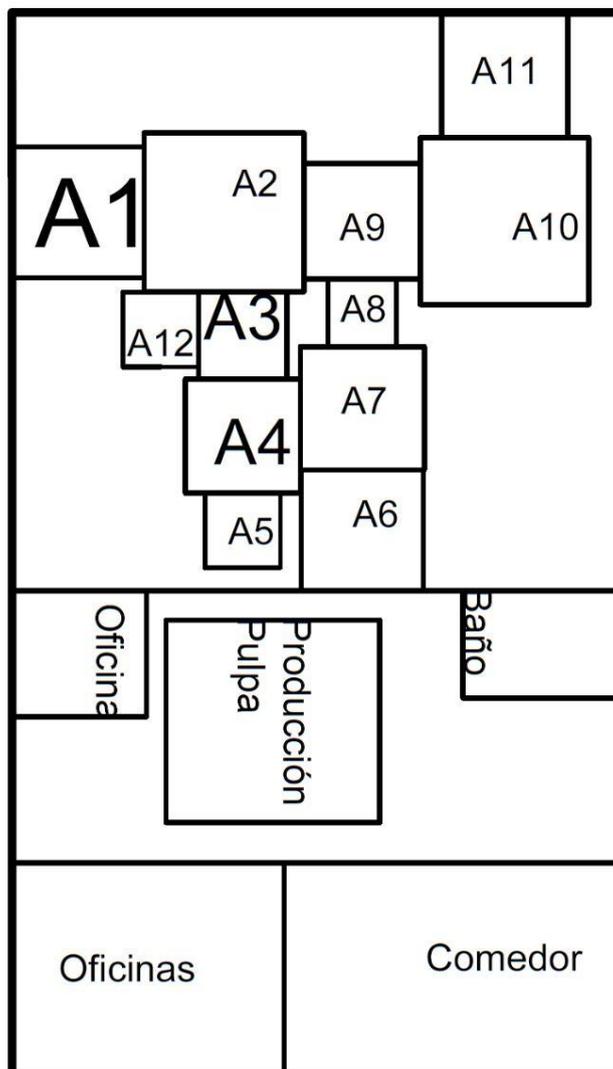
ANEXO 40: LOGIC DISTANCE DASHBOARD MODELO FLEXSIM.**Travel Distance**

ANEXO 41: DISTANCIA EN KM DE LOS TRES ESQUEMAS PROPUESTOS

| Model | Distances KM | Optimal |
|--------------|---------------------|----------------|
| MIP | 27,82 | Yes |
| Graphic | 38,32 | |
| Logic | 43,02 | |

ANEXO 42: DISEÑO FINAL SELECCIONADO EN FLEXSIM.

ANEXO 44: DISEÑO FUTURO DE LA INSTALACIÓN HELADERA.



ANEXO 45: COSTOS FIJOS

Costos anuales

Costos fijos

| Descripción | Valor mensual | Valor anual |
|-------------------|---------------|--------------|
| | Sueldo | |
| Operador 1 | \$ 567,53 | \$ 6.810,38 |
| Operador 2 | \$ 567,53 | \$ 6.810,38 |
| Total | \$ 1.135,06 | \$ 13.620,75 |
| | | |
| Servicios Básicos | | |
| Consumo de luz | \$ 45,00 | \$ 540,00 |
| Consumo de agua | \$ 32,50 | \$ 390,00 |
| Total | \$ 77,50 | \$ 930,00 |
| | | |
| Alquilar | \$ 1.250,00 | \$15.000,00 |
| Total | \$ 2.462,56 | \$ 29.550,75 |

ANEXO 46: COSTOS VARIABLES DEL HELADO A BASE DE AGUA.

Costos variables
Helados a base de agua

| Descripción | Cantidad necesaria | Unidad | Valor de venta | Valor unitario Cantidad necesaria |
|---|--------------------|---------------------|----------------|--------------------------------------|
| Fruta | 800 | Gr | \$ 3,68 | \$ 2,94 |
| Azúcar | 0,4 | Historia clínica | \$ 0,89 | \$ 0,36 |
| Dextrosa | 0,06 | Historia clínica | \$ 3,95 | \$ 0,24 |
| Maltodextrina | 0,1 | Historia clínica | \$ 2,50 | \$ 0,25 |
| Goma xantana | 0,002 | Gr | \$ 4,00 | \$ 0,01 |
| CMC | 0,006 | Gr | \$ 4,50 | \$ 0,03 |
| Contenedor | 1 | contenedor | \$ 4,00 | \$ 4,00 |
| Costo variable total 4 lt de helado | | | \$ 23,52 | \$ 7,82 |
| Costo variable total 1 lt de helado | | | | \$ 1,96 |
| Margen de contribución unitaria ponderada | | | | \$ 2,41 |

ANEXO 47: HELADO DE COSTO VARIABLE A BASE DE LECHE.

| Helado a base de leche | | | | |
|--|--------------------|----------|----------------|-----------------------------------|
| Descripción | Cantidad necesaria | Unidad | Valor de venta | Valor unitario Cantidad necesaria |
| Fruta | 800 | Gr | \$ 3,68 | \$ 2,94 |
| | | Historia | | |
| Azúcar | 0,24 | clínica | \$ 0,89 | \$ 0,21 |
| Leche | 1,2 | Lt | \$ 2,50 | \$ 1,50 |
| Crema de leche | 0,32 | Lt | \$ 3,63 | \$ 0,39 |
| | | Historia | | |
| Leche en polvo | 0,8 | clínica | \$ 1,89 | \$ 1,51 |
| | | Historia | | |
| Dextrosa | 0,1 | clínica | \$ 3,95 | \$ 0,40 |
| | | Historia | | |
| CMC | 0,006 | clínica | \$ 4,50 | \$ 0,03 |
| | | Historia | | |
| Goma xantana | 0,002 | clínica | \$ 4,00 | \$ 0,01 |
| | | Historia | | |
| Pregel | 0,01 | clínica | \$ 3,45 | \$ 0,03 |
| Contenedor | 1 | envase | \$ 4,00 | \$ 4,00 |
| Costo variable total 4 lt de helado | | | \$ 32,49 | \$ 11,02 |
| Costo variable total 1 lt de helado | | | | \$ 2,76 |
| Margen de contribución unitaria ponderada | | | | \$ 2,68 |

ANEXO 48: INVERSIÓN INICIAL.

| Inversión inicial | | | | |
|-----------------------------|-----------------------------|-----------------|-----------------------|--------------------|
| Maquinaria y Equipo | | | | |
| | Descripción | Cantidad | Valor unitario | Valor total |
| Aceptar materias primas | Estanterías de luz | 1 | \$ 160,00 | \$ 160,00 |
| | Congelador | 1 | \$ 140,00 | \$ 140,00 |
| Almacenamiento | Racks Sotrage 1 | 1 | \$ 240,00 | \$ 240,00 |
| | Rack Sotrage 2 | 1 | \$ 240,00 | \$ 240,00 |
| | Estanterías de luz | 1 | \$ 160,00 | \$ 160,00 |
| Pesaje | Máquina de pesaje | 1 | \$ 22,00 | \$ 22,00 |
| | Licadora 15L | 1 | \$ 269,00 | \$ 269,00 |
| Mezclar los ingredientes | Licadora 15L | 1 | \$ 269,00 | \$ 269,00 |
| | Purificar | 1 | \$ 185,00 | \$ 185,00 |
| Pasteurización | Pasteurizador | 1 | \$ 550,00 | \$ 550,00 |
| Homogeneización | Homogeneizador | 1 | \$ 500,00 | \$ 500,00 |
| Envejecimiento de la mezcla | Máquina de envejecimiento | 1 | \$ 1.000,00 | \$ 1.000,00 |
| Mantequilla | Máquina de mantecado | 1 | \$ 499,00 | \$ 499,00 |
| Embalaje | Máquina de embalaje | 1 | \$ 500,00 | \$ 500,00 |
| Congelación | Rejilla | 3 | \$ 240,00 | \$ 720,00 |
| Distribución | Pallet | 3 | \$ 18,00 | \$ 18,00 |
| Limpieza y desinfección | Fregadero de acero | 1 | \$ 69,00 | \$ 69,00 |
| | Bandejas de helado | 6 | \$ 83,99 | \$ 83,99 |
| | Pequeña mesa móvil de acero | 5 | \$ 80,00 | \$ 80,00 |
| Otros elementos | Mesa de acero estático | 6 | \$ 90,00 | \$ 90,00 |

| | | | |
|-------------------------|-----------|-------------|-------------|
| Total | 7508,81 | \$ 5.314,99 | \$ 5.794,99 |
| <hr/> | | | |
| Gastos de constitución | | | |
| Edificio de la empresa | \$ 414,94 | | |
| Permiso de operación | \$ 144,00 | | |
| | | | |
| Total | \$ 558,94 | | |
| Inversión inicial total | \$ | | |
| | 6.353,93 | | |
| <hr/> | | | |