

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

"Diseño de modelo para ubicación de cámaras de seguridad en el centro de
distribución de una empresa de alimentos"

INGE-2475

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Ingenieros Industriales

Presentado por:

Allisson Nicole De La O Pincay

Marco Sebastián Chávez Morejón

Guayaquil - Ecuador

Año: 2024

Dedicatoria

El presente proyecto lo dedico a mis padres, quienes han sido mi mayor inspiración y apoyo, su entrega y orientación constante me han mostrado el valor de la perseverancia y el esfuerzo.

Allisson Nicole De La O Pincay

Dedicatoria

Con profundo agradecimiento, dedico este proyecto a toda mi familia, y de manera muy especial a quien ha sido mi mayor pilar desde el primer día. A ti, mamá, que has estado presente en cada etapa de mi vida, brindándome tu apoyo incondicional en los momentos más difíciles. Fuiste la primera en creer en mí y en mi capacidad para alcanzar este logro. Gracias por ser mi todo siempre.

Marco Sebastián Chávez Morejón

Agradecimientos

Mi más sincero agradecimiento a Dios por su constante presencia y guía a lo largo de mi trayectoria profesional y personal.

También deseo reconocer a mis amigos quienes han sido una fuente invaluable de apoyo y motivación, su presencia ha sido crucial en cada desafío y éxito.

Un agradecimiento especial a Marco, amigo incondicional desde el inicio de la carrera y compañero esencial en este proyecto integrador, su colaboración y apoyo ha sido fundamental para culminar este trabajo.

Finalmente, mi sincero agradecimiento a los profesores de mi carrera, quienes han compartido generosamente sus conocimientos y experiencias.

Allisson Nicole De La O Pincay

Agradecimientos

Expreso mi más profundo agradecimiento a mi papá, cuya disposición y apoyo en los momentos cruciales fueron invaluable, y a mi hermanita, que siempre estuvo allí con palabras de aliento y confianza en cada etapa de este camino.

Agradezco también a cada una de las grandes amistades que la universidad me brindó, personas con quienes compartimos nuestras historias, penas, logros, metas y objetivos, celebrando siempre los éxitos de los demás. Allí, mi compañera de tesis y gran amiga desde el inicio de mi vida universitaria, gracias por tu inquebrantable apoyo y amistad. Gracias de corazón a todos.

Marco Sebastián Chávez Morejón

Declaración Expresa

Nosotros Allisson Nicole De La O Pincay y Marco Sebastián Chávez Morejón acordamos y reconocemos que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique al/los autor/es que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 21 de mayo del 2024.


Allisson Nicole De La O
Pincay


Marco Sebastián Chávez
Morejón

Evaluadores

Sofía Anabel López Iglesias, MSc.

Profesor de Materia

María Belén Segovia Navarrete, MSc.

Tutor de proyecto

Resumen

En el Centro de Distribución (CD) de una empresa alimentaria en Guayaquil, se identificó la necesidad de optimizar el sistema de videovigilancia para mejorar la cobertura y eficiencia. Se desarrolló un modelo para reubicar las cámaras de seguridad, utilizando el software System Surveyor y el modelo de Programación Entera Mixta (MIP) para asegurar una cobertura completa y reducir la sobre cobertura. La evaluación reveló 5 puntos ciegos, 3 puntos con sobre cobertura y 4 cámaras IP fuera de servicio, recomendando reemplazar el 46% de las cámaras actuales e instalar 10 nuevas, con un costo de \$13,000. La optimización permitió reducir el número total de cámaras en un 10%, logrando un ahorro de \$1,200 y manteniendo una cobertura integral. Además, se mejoró la documentación de procesos, se corrigieron posturas ergonómicas y se redujo el consumo energético de 10,157.6 kWh a 9,289.6 kWh. Estos cambios contribuyen a una mayor seguridad, eficiencia operativa y beneficios económicos y ambientales, ofreciendo una base sólida para futuras mejoras en la gestión de videovigilancia.

Palabras Claves: Videovigilancia, Programación Entera Mixta (MIP), cobertura de cámaras, optimización de recursos, eficiencia energética.

Abstract

In the Distribution Center (DC) of a food company in Guayaquil, the need to optimize the video surveillance system to improve coverage and efficiency was identified. A model was developed to relocate the security cameras, using System Surveyor software and the Mixed Integer Programming (MIP) model to ensure complete coverage and reduce over-coverage. The assessment revealed 5 blind spots, 3 areas with over-coverage, and 4 out-of-service IP cameras, recommending the replacement of 46% of the current cameras and the installation of 10 new ones, at a cost of \$13,000. The optimization reduced the total number of cameras by 10%, achieving a savings of \$1,200 while maintaining comprehensive coverage. Additionally, process documentation was improved, ergonomic issues were corrected, and energy consumption was reduced from 10,157.6 kWh to 9,289.6 kWh. These changes contribute to increased security, operational efficiency, and economic and environmental benefits, providing a solid foundation for future improvements in video surveillance management.

Keywords: *Video surveillance, Mixed Integer Programming (MIP), camera coverage, resource optimization, energy efficiency.*

Índice general

Resumen	I
<i>Abstract</i>	II
Índice general	III
Abreviaturas	VII
Simbología	VIII
Índice de figuras	IX
Índice de tablas	XI
CAPÍTULO 1	1
1. Introducción	2
1.1. Descripción del Problema.....	2
1.2. Justificación del Problema.....	3
1.3. Objetivos.....	4
1.3.1. <i>Objetivo general</i>	4
1.3.2. <i>Objetivos específicos</i>	4
1.4. Marco Teórico	4
1.4.1. <i>Prueba “t” de student</i>	4
1.4.2. <i>Coeficiente de correlación intraclase</i>	5
1.4.3. <i>Modelo matemático de programación lineal</i>	5
1.4.4. <i>Modelo matemático de programación entera mixta (MILP)</i>	6

CAPÍTULO 2	7
2. Metodología	8
2.1. Definición	8
2.1.1. <i>Situación actual</i>	8
2.1.2. <i>Alcance</i>	9
2.1.3. <i>Voz del cliente</i>	10
2.1.4. <i>CTQ</i>	11
2.1.5. <i>Métricas de sostenibilidad</i>	12
2.1.5.1. Pilar social	12
2.1.5.2. Pilar ambiental	13
2.1.5.3. Pilar económico	14
2.1.6. <i>Especificaciones técnicas de calidad (QFD)</i>	14
2.1.7. <i>Restricciones</i>	16
2.2. Medición	16
2.2.1. <i>Plan de recolección de datos</i>	16
2.2.2. <i>Validación de datos</i>	19
2.2.2.1. Dimensiones del Centro de Distribución	19
2.2.2.2. Número de cámaras por área	25
2.2.2.3. Número de puntos ciegos y sobrecobertura	28
2.2.2.4. Número de cámaras que no funcionan	29
2.2.2.5. Modelos de cámaras y resolución	30
2.3. Análisis	33

2.3.1.	<i>Método de decisión de ponderación</i>	33
2.3.2.	<i>Dimensiones del CD (m²)</i>	35
2.3.3.	<i>Número de cámaras por área</i>	37
2.3.4.	<i>Puntos ciegos y cámaras que no funcionan por área</i>	38
2.4.	Propuestas de diseño.....	39
2.4.1.	<i>Propuesta 1: Simulación de cobertura – Axis Site Designer</i>	39
2.4.2.	<i>Propuesta 2: Simulación de cobertura – Genetec Security Center</i>	40
2.4.3.	<i>Propuesta 3: Modelo Matemático de programación lineal</i>	41
1.1.1	<i>Propuesta 4: Modelo Matemático de programación entera mixta (MILP)</i>	43
2.4.4.	<i>Comparativa de las propuestas</i>	46
2.5.	Análisis Financiero	47
2.6.	Desarrollo de propuesta de diseño.....	48
2.6.1	<i>Implementación del modelo en GAMS</i>	48
2.6.1.1	Definición de Conjuntos (Sets)	49
2.6.1.2	Definición de Parámetros (Parameters).....	49
2.6.1.3	Uso del Tiempo, en Años, para Cada Cámara Específica k en el Área A	49
2.6.1.4	Metros Cuadrados por Subárea	50
2.6.1.5	Variables.....	50
2.6.1.6	Variables Enteras.....	51
2.6.1.7	Ecuaciones.....	51
2.6.2	<i>Implementación del Software System Surveyor</i>	51
2.7	Plan de implementación de prototipo	53

CAPÍTULO 3	55
3. Resultados y análisis	56
3.1. Análisis de resultados	56
3.2. Costos estimados	69
3.3. Indicadores de sostenibilidad.....	70
3.4. Validación de especificaciones de diseño	75
3.4.1. Cobertura Operativa del 100% de las Cámaras.....	75
3.4.2. Cobertura de puntos ciegos.....	76
3.4.3. Resolución de al menos 1080p para todas las cámaras	78
CAPÍTULO 4	79
4. Conclusiones y Recomendaciones	80
4.1. Conclusiones.....	80
4.2. Recomendaciones	82
5. Referencias	83
Axis Site Designer. (s.f.). Obtenido de https://sitedesigner.axis.com/	83
6. Apéndices	84

Abreviaturas

CTQ	Critical to Quality
ICC	Coefficiente de correlación intraclase
MSW	Cuadrado medio de los grupos
RCCS	Rentabilidad del reemplazo de cámaras de seguridad
SIPOC	Proveedor, Entrada, Proceso, Salida, Cliente
SIR	Tasa de Incidentes de Seguridad
SSB	Suma de cuadrados medios entre grupos
SSW	Suma de cuadrados medios de medias
QFD	Quality Function Deployment
MILP	Modelo matemático de programación entera mixta

Simbología

%	Porcentaje
p	Tipo de escaneo (progresivo)
m ²	Metros cuadrados
kW	Kilovatio
kWh	Kilovatio-hora

Índice de figuras

Figura 1 <i>Macroproceso del Centro de Distribución</i>	8
Figura 2 <i>Sipoc de proceso de videovigilancia del CD</i>	9
Figura 3 <i>Diagrama de aspectos críticos para la calidad</i>	11
Figura 4 <i>Despliegue de la función de calidad</i>	15
Figura 5 <i>Circuito cerrado de televisión del Centro de Distribución (CCTV)</i>	26
Figura 6 <i>Comparación de medias del registro física (muestra 1) y del CCTV(muestra 2)</i>	27
Figura 7 <i>Clasificación ABC</i>	34
Figura 8 <i>Resultado de las dimensiones de cada área del CD</i>	36
Figura 9 <i>Número de cámaras por año (2013,2018,2024)</i>	37
Figura 10 <i>Resumen de las cámaras operativas y puntos ciegos por área</i>	38
Figura 11 <i>Simulador Axis Site Designer</i>	40
Figura 12 <i>Simulador Genetec Security Center</i>	41
Figura 13 <i>Simulación en System Surveyor</i>	53
Figura 14 <i>Simulación de cobertura del área A</i>	59
Figura 15 <i>Simulación de cobertura del área B</i>	59
Figura 16 <i>Simulación de cobertura del área C</i>	60
Figura 17 <i>Simulación de cobertura del área D</i>	60
Figura 18 <i>Simulación de cobertura del área E</i>	61
Figura 19 <i>Simulación de cobertura del área F</i>	62
Figura 20 <i>Simulación de cobertura del área G</i>	62
Figura 21 <i>Simulación de cobertura de las áreas H-I</i>	63
Figura 22 <i>Simulación de cobertura de las áreas K-J</i>	64
Figura 23 <i>Simulación de cobertura del área L</i>	64
Figura 24 <i>Simulación de cobertura del área L</i>	65

Figura 25 <i>Simulación de cobertura de las áreas M-O</i>	66
Figura 26 <i>Simulación de cobertura del área P</i>	66
Figura 27 <i>Simulación de cobertura del área Q</i>	67
Figura 28 <i>Simulación de cobertura del área R</i>	68
Figura 29 <i>Cobertura Operativa de las Cámaras de Seguridad</i>	76
Figura 30 <i>Puntos ciegos identificados y eliminados</i>	77

Índice de tablas

Tabla 1	<i>Diagrama de afinidad de las necesidades del cliente</i>	10
Tabla 2	<i>Plan de Recolección de Datos</i>	18
Tabla 3	<i>Datos técnicos del medidor láser</i>	21
Tabla 4	<i>Muestras de las 7 áreas seleccionadas para la confiabilidad de las dimensiones</i>	22
Tabla 5	<i>Criterios de interpretación del Coeficiente de Correlación Intraclase</i>	25
Tabla 6	<i>Resumen de los puntos ciegos y sobrecobertura por cada área</i>	28
Tabla 7	<i>Resumen de las cámaras que no están en funcionamiento</i>	30
Tabla 8	<i>Tipos de cámaras en el centro de distribución</i>	31
Tabla 9	<i>Criterios para la clasificación ABC</i>	33
Tabla 10	<i>Escala de evaluación para la clasificación ABC</i>	33
Tabla 11	<i>Resultados de la evaluación para la clasificación ABC</i>	34
Tabla 12	<i>Comparativa con las especificaciones de diseño</i>	46
Tabla 13	<i>Simulador Axis Site Designer</i>	47
Tabla 14	<i>Genetec Security Center</i>	47
Tabla 15	<i>Análisis financiero propuesta 3 y 4</i>	48
Tabla 16	<i>Plan de prototipo</i>	54
Tabla 17	<i>Resultados del modelo de GAMS</i>	57
Tabla 18	<i>Costos totales estimados</i>	70
Tabla 19	<i>Resultados del indicador social</i>	71

CAPÍTULO 1

1. Introducción

En el Centro de Distribución (CD) de una empresa de alimentos en Guayaquil, se plantea diseñar un modelo de localización para reubicar las cámaras de seguridad de un sistema de video vigilancia que abarque los procedimientos de cada área del CD. Este sistema se monitorea periódicamente desde un Circuito Cerrado de Televisión (CCTV) para monitorear en tiempo real y grabar todas las actividades diarias, desde la llegada de los productos hasta su salida.

La implementación de este modelo no solo busca mejorar la seguridad física del CD, sino también optimizar los procesos operativos mediante la detección y corrección oportuna de posibles incidencias. Además, se espera que la videovigilancia contribuya a disuadir posible reducción de los riesgos asociados a la manipulación y almacenamiento de productos. En este sentido, la integración de tecnología avanzada en la gestión de la seguridad se convierte en una herramienta estratégica para la empresa, permitiendo una gestión más eficiente y segura de sus operaciones.

Los componentes principales del sistema de videovigilancia propuesto, incluyendo los tipos de cámaras a utilizar, la metodología para su ubicación y las estrategias de monitoreo y grabación. Asimismo, se discutirán los beneficios esperados de la implementación de este sistema, así como los desafíos y consideraciones técnicas que deberán ser abordados para su correcta ejecución. Este proyecto se enmarca en una visión de mejora continua y adaptación a las necesidades cambiantes del entorno empresarial, buscando siempre la excelencia operativa y la satisfacción del cliente.

1.1. Descripción del Problema

En el Centro de Distribución (CD) de una empresa de alimentos, se identifica una necesidad crítica de reorganizar el sistema de videovigilancia para asegurar una cobertura efectiva de áreas críticas y monitorear los procesos de manera óptima, desde la entrada hasta la salida de los productos. Actualmente, el sistema de cámaras de seguridad existente presenta deficiencias en

cuanto a cobertura y ubicación, comprometiendo la seguridad física de las instalaciones y la eficiencia en el monitoreo diario de las operaciones.

La distribución inadecuada de las cámaras ha creado cinco puntos ciegos, lo que ha afectado la calidad de las grabaciones y dificulta la detección y corrección oportuna de incidencias. Esta situación no solo pone en riesgo la integridad de los productos almacenados, sino que también impacta negativamente en la eficacia de los procesos operativos y en la capacidad de respuesta ante emergencias.

Por lo tanto, es esencial desarrollar un modelo de localización que permita reubicar estratégicamente las cámaras de seguridad, asegurando una cobertura total de las áreas críticas, eliminando puntos ciegos y mejorando significativamente la calidad de las grabaciones.

1.2. Justificación del Problema

La implementación de un modelo de optimización en el sistema de videovigilancia del Centro de Distribución de la empresa de alimentos se justifica por la presencia de múltiples puntos ciegos y una visibilidad limitada que están impactando negativamente la capacidad del departamento de logística para monitorear y asegurar de manera efectiva las operaciones. Esta limitación ha sido evidente desde principios de 2024, impidiendo el monitoreo completo de los procesos, desde la entrada hasta la salida de los productos terminados. Por lo tanto, la necesidad de implementar un modelo que minimice los costos de implementación de cámaras y garantice una cobertura del 100% de todas las áreas de riesgo y zonas críticas se vuelve imperativa para mejorar la seguridad, la eficiencia operativa y la gestión de riesgos en el centro de distribución

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Reorganizar el sistema de videovigilancia en el centro de distribución de una empresa de alimentos para cubrir áreas de riego y monitorear procesos desde la entrada hasta la salida del producto terminado durante el periodo de mayo a septiembre de 2024.

1.3.2. Objetivos específicos

- Recopilar información sobre equipos usados actualmente y planos del Centro de Distribución.
- Validar qué equipos del mercado (cámaras) son compatibles con el software actual.
- Determinar las especificaciones de diseño en función de las necesidades del cliente.
- Validar diferentes alternativas de diseño que optimicen el sistema de videovigilancia
- Evaluar los resultados de la alternativa del diseño elegido.

1.4. Marco Teórico

Este estudio se centra en explorar y comprender diversas herramientas estadísticas y de modelado relevantes. Estas herramientas desempeñan un papel crucial en el análisis y la toma de decisiones en áreas específicas, permitiendo un enfoque riguroso en la evaluación de datos y la optimización de recursos.

1.4.1. Prueba “t” de student

La prueba t, también conocida como prueba t de Student, es una herramienta estadística fundamental para evaluar las diferencias entre las medias de uno o dos grupos mediante pruebas de hipótesis. Se utiliza para determinar si un solo grupo difiere significativamente de un valor conocido (prueba t de una muestra), si hay diferencias entre dos grupos independientes (prueba t de muestras independientes), o si existe una diferencia significativa entre medidas emparejadas

(prueba t de muestras dependientes o pareadas). Es crucial establecer claramente la hipótesis a evaluar y definir el nivel de riesgo aceptable para los errores. Los datos se analizan calculando la estadística de la prueba y comparándola con los valores críticos de la distribución t, lo que permite tomar una decisión informada sobre la aceptación o el rechazo de la hipótesis nula, asegurando una interpretación precisa de los resultados obtenidos. (Statistical Discovery).

1.4.2. Coeficiente de correlación intraclase

El coeficiente de correlación intraclase (ICC) es una herramienta estadística fundamental para evaluar la concordancia entre dos o más medidas repetidas tomadas de la misma muestra. Es especialmente valioso en investigaciones donde se busca determinar la consistencia y fiabilidad de las mediciones realizadas por diferentes observadores, métodos o instrumentos (Palacio, 2023). El ICC se obtiene a través de un análisis de varianza que compara la varianza entre los sujetos (o unidades de análisis) con la varianza dentro de los sujetos, permitiendo distinguir y cuantificar tanto la variabilidad debida a las diferencias individuales como la variabilidad aleatoria dentro de cada sujeto. Este coeficiente se interpreta en una escala de 0 a 1, donde valores cercanos a 1 indican una alta concordancia entre las medidas, mientras que valores cercanos a 0 sugieren una baja concordancia.

1.4.3. Modelo matemático de programación lineal

La programación lineal constituye una herramienta esencial en la gestión de operaciones, aplicada en entornos empresariales donde los recursos son escasos y la demanda supera la oferta disponible. Es utilizada para resolver problemas de asignación eficiente de recursos limitados entre diversas actividades que compiten por su uso, estos recursos pueden incluir tiempo, capital o materiales, y las restricciones que limitan su disponibilidad.

El objetivo fundamental de la programación lineal es minimizar los costos o maximizar los beneficios asociados con estas asignaciones, garantizando así decisiones óptimas que respalden la eficiencia y rentabilidad.

1.4.4. Modelo matemático de programación entera mixta (MILP)

Los modelos matemáticos que combinan variables continuas con variables enteras, presentes de manera lineal y separables tanto en la función objetivo como en las restricciones del problema, se conocen como Problemas Lineales Mixtos Enteros (MILP). Estos problemas son fundamentales en la optimización combinatoria y se aplican extensamente en diversas áreas como la ingeniería, la economía y la logística.

En muchos casos prácticos, las variables enteras son binarias, limitadas a valores 0 o 1, lo que permite representar decisiones discretas como la activación o desactivación de opciones. Además, esta flexibilidad es crucial para resolver desafíos complejos como la asignación de recursos, la planificación de producción y la optimización de rutas. La capacidad de manejar tanto variables continuas como enteras en un marco matemático unificado hace que los MILP sean herramientas poderosas y versátiles en la toma de decisiones estratégicas y operativas. (Rocha, Gutiérrez, & Silva, 2021)

CAPÍTULO 2

2. Metodología

Mediante la metodología DMAIC, se puede estructurar eficazmente el proceso de diseño, permitiendo obtener una visión clara y sistemática del desarrollo de nuevos productos o soluciones. Esta metodología ayuda a asegurar que el diseño se alinee con los requisitos del cliente y las metas del proyecto, optimizando la calidad y la eficiencia desde el inicio. A continuación, se detalla el contenido de cada etapa aplicada:

2.1. Definición

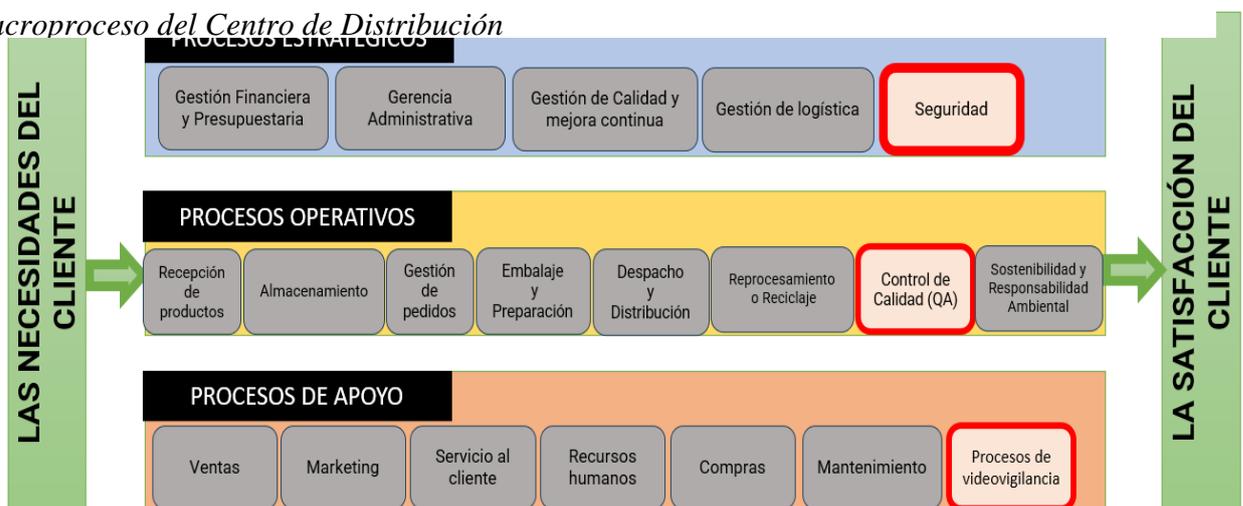
En la fase inicial del proyecto es fundamental entender las necesidades del cliente, ya que proporcionan información crucial para identificar el problema actual y en base a estas necesidades determinar las especificaciones de diseño de manera precisa y adecuada.

2.1.1. Situación actual

Con base a las entrevistas realizadas con los clientes claves, se ha llevado un exhaustivo análisis de la situación actual de la empresa. Como resultado de este estudio, se ha elaborado un “Mapa de Macroprocesos” que revela inconsistencias en las operaciones de seguridad, control de calidad y procesos de videovigilancia como se detalla en la Figura 1.

Figura 1

Macroproceso del Centro de Distribución



2.1.2. Alcance

Para comprender la extensión del proyecto, se desarrolló un diagrama SIPOC centrado en el proceso de videovigilancia que abarca de manera sistemática los pasos esenciales desde la recopilación de información sobre la infraestructura existente hasta la evaluación de riesgos, la identificación de requisitos específicos de cámaras de seguridad, el análisis costo-beneficio y la elaboración de un detallado plan de implementación. Este enfoque se presenta en la Figura 2 como una guía estructurada para optimizar cada fase del proyecto de videovigilancia.

Figura 2

Sipoc de proceso de videovigilancia del CD



2.1.3. Voz del cliente

Con el objetivo de obtener una comprensión de la situación actual del centro de distribución, se realizaron entrevistas con los siguientes clientes claves:

- Jefe de seguridad
- Asistente de Logística y Distribución
- Jefe de Bodega
- Coordinador de Seguridad y Salud Ambiental

Cada uno de estos roles desempeña un papel fundamental en el funcionamiento y la seguridad del centro de distribución. Además, las necesidades identificadas fueron organizadas y sintetizadas en un diagrama de afinidad, en la cual facilitó la visualización y agrupación de las preocupaciones en categorías específicas, como se detalla en la Tabla 1.

Tabla 1

Diagrama de afinidad de las necesidades del cliente

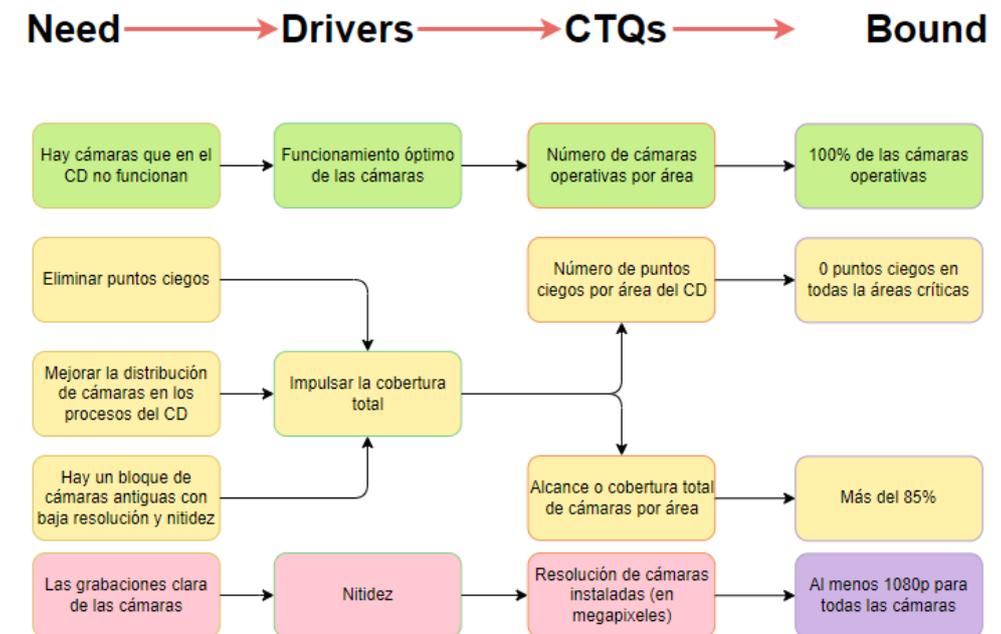
Categorías	Necesidades
Funcionamiento óptimo de las cámaras	<ul style="list-style-type: none"> • Hay cámaras en el Centro de Distribución que no funcionan
Impulsar la cobertura total	<ul style="list-style-type: none"> • Eliminar los puntos ciegos • Mejorar la distribución de cámaras en los procesos de CD • Hay un bloque de cámaras antiguas con baja resolución y nitidez.
Nitidez	<ul style="list-style-type: none"> • Las grabaciones de las cámaras claras

2.1.4. CTQ

Basado en las necesidades críticas identificadas y organizadas se procedió a realizar un análisis detallado CTQ este enfoque permite definir claramente las especificaciones fundamentales que deben cumplir las soluciones propuestas para mejorar tanto la eficiencia operativa como la seguridad del centro de distribución, como podemos observar en la Figura 3.

Figura 3

Diagrama de aspectos críticos para la calidad



A continuación, se muestra detalladamente la fórmula utilizada para definir las especificaciones críticas:

El número de cámaras operativas por área es el cálculo utilizado para determinar la cantidad adecuada de cámaras de videovigilancia necesarias para cubrir eficazmente una determinada área o zona garantizando una cobertura óptima de vigilancia y esta se puede observar en la ecuación 2.1.

$$\text{Porcentaje de cámaras operativas} = \frac{\text{Número de cámaras operativas}}{\text{Número total de cámaras}} \times 100 \quad (2.1)$$

El número de puntos ciegos actuales en el CD es esencial para identificar vulnerabilidades en la seguridad y planificar la colocación estratégica de nuevas cámaras o ajustes para garantizar una cobertura completa, por lo cual surge la ecuación 2.2.

$$\text{Número de puntos ciegos} = \sum \text{Puntos ciegos por área} \quad (2.2)$$

En la ecuación 2.3 tenemos la resolución de cámaras, en donde optimizar este porcentaje implica equilibrar costos con la necesidad de una vigilancia efectiva, asegurando que cada área del centro de distribución cuente con la resolución adecuada.

$$\% \text{ Resolución de cámara} = \frac{\text{Grabación real o píxeles de imagen por cámara}}{\text{Píxeles teóricos por imagen}} \times 100 \quad (2.3)$$

Por último, en la ecuación 2.4 se tiene el alcance o cobertura de cámara por área para determinar la extensión efectiva.

$$N = \frac{A}{C*(1-S)} \quad (2.4)$$

Donde:

- N es el número de cámaras necesarias
- A es el área total para cubrir (m^2)
- C es la cobertura efectiva de una cámara (m^2)
- S es la superposición de coberturas (un valor común es entre 10% y 20%)

2.1.5. Métricas de sostenibilidad

2.1.5.1. Pilar social

Esta métrica evalúa el porcentaje total de cobertura en el centro de distribución, considerando el área cubierta por cámaras en relación con el área total disponible. La fórmula para calcular este porcentaje es:

$$\text{Porcentaje total de cobertura (PCC)} = \frac{\text{Área cubierta por cámaras (m}^2\text{)}}{\text{Área total (m}^2\text{)}} \times 100 \quad (2.5)$$

El objetivo de la ecuación 2.5 es cuantificar la extensión de la cobertura visual proporcionada por el sistema de cámaras de seguridad. Un mayor porcentaje de cobertura asegura que una mayor parte del área del Centro de Distribución esté monitoreada y documentada, lo que contribuye significativamente a los siguientes beneficios:

- Documentación de Procesos: Un aumento en la cobertura permite una mejor documentación y monitoreo de los procesos operativos, facilitando la identificación de áreas que necesitan mejoras o ajustes.
- Ergonomía y Seguridad: Al tener un monitoreo exhaustivo, se puede asegurar que las áreas de trabajo cumplen con los estándares ergonómicos y de seguridad, permitiendo una intervención más rápida en caso de problemas.
- Salud Ocupacional: La cobertura integral ayuda a identificar y abordar posibles riesgos para la salud ocupacional, promoviendo un ambiente de trabajo más seguro y saludable para los empleados.

2.1.5.2. Pilar ambiental

Este pilar se enfoca en la evaluación del consumo de energía anual de las cámaras de seguridad y en la implementación de medidas preventivas para una gestión eficiente de los recursos energéticos. Monitorear y controlar el consumo de energía de las cámaras proporciona varios beneficios ambientales

En primer lugar, permite identificar oportunidades para reducir el uso energético y minimizar la huella de carbono del centro de distribución. Además, la implementación de medidas preventivas y de optimización energética ayuda a mejorar la eficiencia en el uso de la energía, lo que no solo reduce costos operativos, sino que también apoya los objetivos de sostenibilidad del

centro. Por eso, en la ecuación 2.6 se muestra la respectiva fórmula para calcular del consumo anual de energía de las cámaras.

$$\text{Consumo anual}(kWh) = \text{Potencia}(kW) \times \text{horas de operación por año} \quad (2.6)$$

2.1.5.3. Pilar económico

La eficiencia económica en el contexto del sistema de videovigilancia se enfoca en optimizar los costos operativos, aumentar la productividad y mejorar continuamente los procesos. Un indicador clave de esta eficiencia es la evaluación de los ahorros económicos que resultan de reducir los gastos asociados con la compra e instalación de equipos o activos. Al disminuir el número de equipos necesarios en comparación con un escenario anterior, se logra una reducción significativa en los costos.

En particular, el ahorro en adquisición se calcula teniendo en cuenta la disminución en el número de cámaras requeridas y el costo unitario de cada una. La fórmula para calcular este ahorro se presenta a continuación la ecuación 2.7.

$$\text{Ahorro de Adquisición}(AA) = (A - P)X(CUC) \quad (2.7)$$

Donde:

A=Número de cámaras actuales

P=Número de cámaras propuestas

CUC= Costo unitario de una sola cámara (\$)

2.1.6. Especificaciones técnicas de calidad (QFD)

El Despliegue de la Función de Calidad (QFD, por sus siglas en inglés) es un método estructurado utilizado en el diseño de productos y servicios para transformar las demandas y expectativas de los clientes en características técnicas y operativas concretas (Quinteros, 2024).

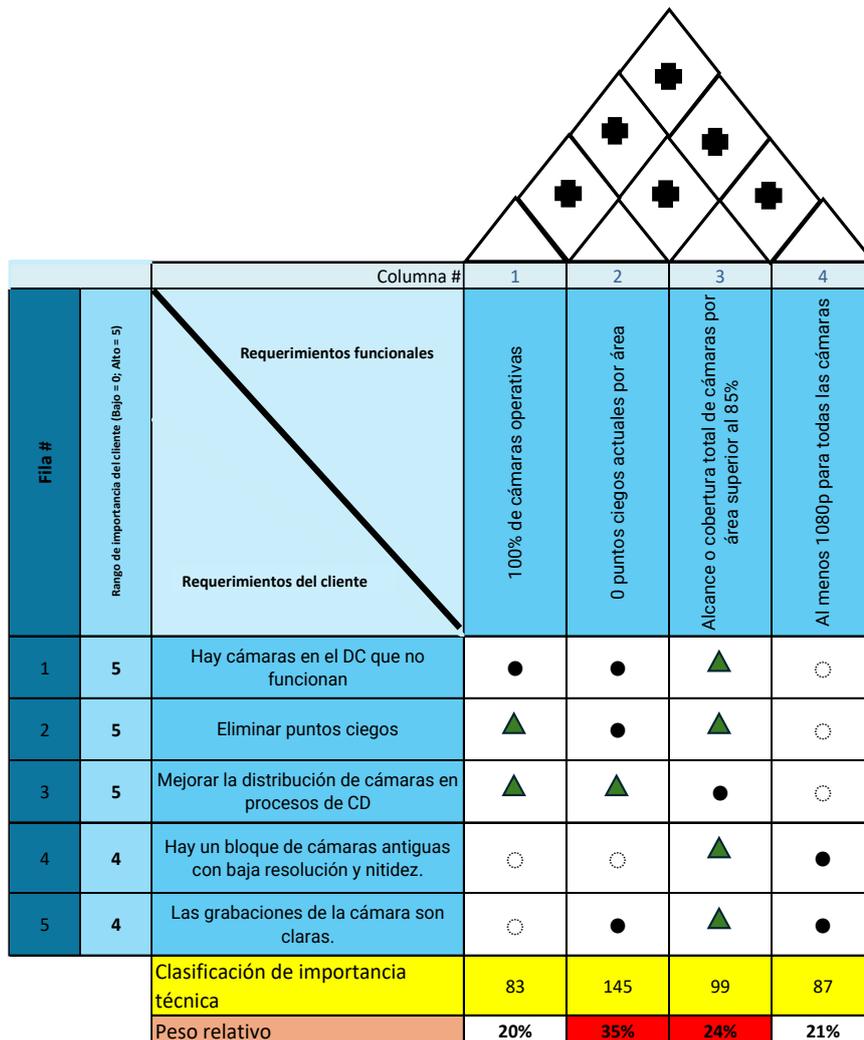
Este enfoque sistemático asegura que los productos y servicios desarrollados no solo cumplan con los requisitos del cliente, sino que también optimicen la satisfacción y la calidad.

Una vez definidos los requerimientos del cliente junto con sus características de diseño correspondientes, se procedió a cuantificar las especificaciones técnicas mediante ponderaciones y se seleccionaron las más relevantes para el proyecto como se observa en la Figura 4, las cuales se detallan a continuación:

- Cero puntos ciegos actuales por área
- Alcance o cobertura total de cámaras por área superior al 85%

Figura 4

Despliegue de la función de calidad



2.1.7. Restricciones

A continuación, se detallan las limitaciones que deben tenerse en cuenta en la ejecución del proyecto de videovigilancia en el centro de distribución:

- Asegurar y mapear todas las áreas críticas del CD.
- Considerar la capacidad límite de almacenamiento de grabaciones.
- Asegurar la iluminación de todas las áreas del CD.
- Utilizar equipos de grabación con una larga vida útil, que sean confiables y duraderos para garantizar la continuidad de las operaciones.
- Trabajar con al menos el 50% de las cámaras con resolución media-baja.
- Utilice equipos y software compatibles con el sistema de videovigilancia existente, ya que facilita la instalación, configuración y mantenimiento del sistema sin interrupciones mayores.

2.2. Medición

En esta etapa se recolectaron datos relevantes para las propuestas de modelos, relacionadas con las propuestas de diseño mediante un plan de recolección de datos.

2.2.1. Plan de recolección de datos

Se aplicó un plan de recolección con la finalidad de comprender la situación actual de la empresa con información cuantitativa y cualitativa. Se plantearon 5 variables para analizar, necesarias para las propuestas a plantear con el modelo de localización, como se puede observar en la Tabla 2.

Para las dos primeras variables, los datos obtenidos fueron cuantitativos, lo que permite realizar una validación estadística detallada para verificar su confiabilidad, se puede asegurar que los datos son consistentes y representativos de la realidad que se está estudiando. Este enfoque

cuantitativo proporciona una base sólida y objetiva para evaluar la precisión y validez de los datos recopilados, permitiendo identificar cualquier anomalía o error sistemático.

Por otro lado, las restantes variables fueron cualitativas. Debido a la naturaleza no numérica de estos datos, se adoptaron métodos de validación diferentes. En este caso, se emplearon validaciones visuales y entrevistas, diseñadas específicamente para capturar las percepciones y necesidades del cliente. Esta técnica permite comprender los aspectos subjetivos y contextuales de la información recopilada.

Tabla 2

Plan de Recolección de Datos

N°	¿QUÉ?				¿DÓNDE?	¿CUANDO?	¿CÓMO?			¿POR QUÉ? Un uso futuro	¿OMS? Responsable	Estado
	Variable	Unidad de medida	Definición operacional	Tipo de datos			Técnica de medición	Instrumento	Validación del método			
1	Dimensiones del CD	m ²	Las dimensiones (largo, ancho, alto) de cada área de CD	Cuantitativos - Continuos	Todas las áreas de CD	Durante la etapa de medición	Analizar planos y tomar medidas con láser de medición.	Medidor de distancias laser OGETO y Autocad	Comparar con mediciones reales con los planos y coeficiente de correlación intraclass para investigación de confiabilidad (ICC)	Identificar las medidas de las áreas CD. Y definir el número de cámaras correspondientes por área a instalar o reubicar con un modelo de optimización	Allisson De La O y Marco Chávez	Actual
2	Número de cámaras por área	Unidades	El número total de cámaras de vigilancia implementadas dentro de cada área de DC	Cuantitativo - Discreto	Todas las áreas de CD	Durante la etapa de medición	Inspección visual	Autocad y Cuarto de Cámaras (CCTV)	Compare con las distribuciones de cámaras de 2013, 2018 y actualmente con los planos. Y prueba t de Student	Buscar minimizar el número de cámaras actuales por zona, con la mayor cobertura de grabación posible	Allisson De La O y Marco Chávez	Actual
3	Número de puntos ciegos y sobrecobertura	Unidades	Puntos donde las cámaras no captan la acción del usuario, mientras que por otro lado también las zonas que tienen algunas cámaras apuntando al mismo lugar sin aportar valor significativo	Cuantitativo - Discreto	Todas las áreas de CD	Durante la etapa de medición	Inspección visual y entrevista con el cliente clave.	Cuarto de Cámaras (CCTV)	Recorrer las instalaciones del CD y compara con la imagen captada por el sistema de Videovigilancia	Verificar que el trabajador o usuario esté pasando por una zona de punto ciego, no hay enfoque en la cámara, se puede ver en el CCTV que la cámara no enfocó su posición.	Allisson De La O y Marco Chávez	Actual
4	Número de cámaras que no funcionan	Unidades	Cámaras que no funcionan, ya sea por un problema técnico o por un factor externo	Cuantitativo - Discreto	Todas las áreas de CD	Durante la etapa de medición	Inspección visual y análisis de software.	Cuarto de cámaras (CCTV)	Ingrese al software IVMS-4200 y verifique la funcionalidad de cada cámara	Consulta los motivos por los que no funciona: cobertura, señal, vida útil o cualquier avería directamente con el software	Allisson De La O y Marco Chávez	Actual
5	Modelo de cámara y resolución.	Unidades/ megapíxeles	Conocer la calidad de imagen y video de los equipos de videovigilancia. Además del funcionamiento diario del equipo	Cuantitativo - Discreto	Todas las áreas de CD	Durante la etapa de medición	Revisión de fichas técnicas de cámaras.	Registro de proveedores y fichas técnicas.	Analizar la ficha técnica de las cámaras y pasar por el DC para comparar si son iguales	Saber si pueden ser útiles y cumplir con los requisitos del cliente	Allisson De La O y Marco Chávez	Actual

2.2.2. Validación de datos

Según la información proporcionada por la empresa y los proveedores del sistema de videovigilancia, se validaron tanto cuantitativas como cualitativas para cada variable planteada. Las validaciones cuantitativas emplearon métodos estadísticos para asegurar la precisión y consistencia de los datos numéricos, mientras que las cualitativas utilizaron entrevistas y evaluaciones visuales para comprender el contexto y las percepciones subjetivas. Este enfoque combinado permitió alcanzar un alto nivel de confianza en los datos

2.2.2.1. Dimensiones del Centro de Distribución

Utilizando los planos de la empresa en AutoCAD, como se muestra en el (Apéndice A) y tras realizar varios recorridos de las instalaciones, se pudo identificar cada una de las áreas del centro de distribución con precisión. En total, se clasificaron 18 áreas distintas, cada una con su función específica, de la siguiente manera:

- a) **Garita, entrada vehicular:** Controla el acceso de vehículos y personas al centro de distribución.
- b) **Cuarto de bombas y sistema contra incendios:** Aloja los equipos esenciales para la prevención y control de incendios.
- c) **Oficinas y comedor:** Espacios administrativos y áreas de descanso para el personal.
- d) **Maniobra de recepción en patio:** Zona destinada a la recepción y manejo inicial de mercancías.
- e) **Precargas de recepción:** Área de preparación y organización de mercancías antes de su almacenamiento.
- f) **Patio de maniobras y zona de precargas y despachos:** Espacio amplio para la maniobra de vehículos y la preparación de envíos.
- g) **Ambiente bodega 1:** Almacén específico para ciertos tipos de productos.

- h) **Ambiente bodega 2:** Almacén adicional para diferentes categorías de mercancías.
- i) **Cuarto de carretilla elevadora:** Área de almacenamiento y mantenimiento de equipos de elevación.
- j) **Generadores y transformadores:** Infraestructura eléctrica crítica para el funcionamiento continuo del centro.
- k) **Células de fabricación:** Espacios destinados a procesos productivos específicos dentro del centro.
- l) **Zonas de pallets:** Áreas organizadas para el almacenamiento eficiente de productos sobre pallets.
- m) **Bodega 1 y 2 climatizada:** Almacenes con control de temperatura para productos sensibles.
- n) **Patio trasero, cancha polideportiva:** Espacio recreativo para el personal y actividades al aire libre.
- o) **Plantas de aire:** Instalaciones dedicadas a la generación y manejo de aire comprimido.
- p) **Reposo de portadores, desnaturalización y EDAR:** Áreas para el descanso de transportistas, manejo de residuos y tratamiento de aguas.
- q) **Estacionamiento de vehículos, motocicletas, POP, auditorio y DSD:** Amplio estacionamiento y espacios adicionales para diversas actividades y reuniones.

Posterior, cada una de estas áreas fue detallada para asegurar una comprensión completa de sus características y funciones. Además, se las clasificó por colores como se muestra en el (Apéndice B). Esta clasificación visual no solo mejora la eficiencia operativa y la organización interna, sino que también optimiza la seguridad al permitir una identificación rápida y clara de cada zona. Los colores asignados a cada área ayudan en la orientación del personal y en la gestión

de logística, garantizando que cada sección del centro funcione de manera coordinada. Para el análisis de confiabilidad de los datos, optamos por un tamaño de muestra de 7 áreas para equilibrar precisión y viabilidad. Las áreas seleccionadas representan adecuadamente las posibles variaciones dentro del centro de distribución, lo que nos permite evaluar la confiabilidad sin incurrir en altos costos ni excesivas demandas de recursos, garantizando así una medición consistente y representativa. Las áreas seleccionadas son: A, B, C, I, J, K, P y M. De estas áreas seleccionadas, se tomaron varias muestras de las mismas áreas como se encuentra en la Tabla 4, para así asegurar la precisión de los datos:

1. Medidas obtenidas de los planos de AutoCAD proporcionados por la empresa.
2. Medición física realizada por Persona 1.
3. Medición física realizada por Persona 2.

El instrumento utilizado para verificar las mediciones fue un distanciómetro láser OGETO, conocido por su precisión y fiabilidad en mediciones de campo. Este dispositivo tomó medidas en tramos de 50 metros debido a su alcance máximo, asegurando que todas las distancias relevantes fueran capturadas de manera precisa.

Tabla 3

Datos técnicos del medidor láser

DATOS TÉCNICOS	
Dimensiones	100 x 40 x 30 mm
Peso	120 gramos
Batería	2 baterías AAA
Distancia máxima	50 metros
Precisión	± 2 mm
Unidades de medida	metro, pie y pulgada
Otros	Modo de suma y resta; calculadora de área, distancia, longitud, volumen y método de Pitágoras; dos niveles de burbuja; correa de transporte; almacenamiento de hasta 99 datos; recuperación automática.



Se prestó especial atención a asegurar que las mediciones físicas y las de los planos coincidieran, permitiendo una validación exhaustiva de los datos recolectados. Las áreas medidas abarcan una representación completa del centro de distribución, proporcionando una base sólida para la evaluación de la confiabilidad y precisión de nuestras mediciones. Este proceso riguroso asegura que las medidas físicas realizadas sean coherentes con las representadas en los planos de AUTOCAD, garantizando así la integridad y exactitud de la información. A continuación, se muestran las medidas tomadas:

Tabla 4

Muestras de las 7 áreas seleccionadas para la confiabilidad de las dimensiones

Áreas	Descripción de las áreas del CD	AUTOCAD (m ²)	Persona 1 (m ²)	Persona 2 (m ²)
Área a	Garita, entrada vehicular	323,05	315.21	328.53
Área b	Cuarto de bombas y sistema contra incendios	410,26	398.20	413.88
Área c	Oficinas y comedor	886,79	890.10	845.40
Área k	Células de fabricación	319,35	317.63	320.52
Área l	Zonas de pallets	313,87	310.45	314.44
Área m	Bodega 1 y 2 climatizada	408,02	409.21	400.87
Área p	Reposo de portadores, desnaturalización y EDAR	188,68	180.63	189.56

El coeficiente de correlación intraclase (ICC) es una medida estadística utilizada para evaluar la fiabilidad o consistencia de las mediciones realizadas por diferentes observadores o en diferentes ocasiones. El ICC es particularmente útil en estudios de confiabilidad interobservador e intraobservador, así como en estudios donde se evalúa la consistencia de mediciones repetidas. La noción que subyace a la formulación del ICC fue introducida por Fisher (1921), quien propuso una definición especial del coeficiente de correlación de Pearson para distribuciones de igual media y variancia. (Fleiss, 1986)

En base a la Tabla 4 empezamos a calcular la media total mediante la fórmula de la ecuación 2.8.

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij}}{n * k} \quad (2.8)$$

Donde $n=7$ (número de áreas) y $k=3$ (número de mediciones por área)

$$Y = \frac{(323.05 + 315.21 + 8.20 + 413.88 + 886.79 + \dots + 188.68 + 180.63 + 189.56)}{7 * 3}$$

$$Y = \frac{10120.66}{21} = 481.94$$

Ahora calculamos la media por filas usando la ecuación 2.9:

$$Y_i = \frac{\sum_{j=1}^k Y_{ij}}{k} \quad (2.9)$$

Por ejemplo, para el Área a:

$$Y_a = \frac{323.05 + 315.21 + 328.53}{3} = 322.93$$

Realizando este cálculo para todas las áreas:

$$Y_a = 322.93$$

$$Y_b = 407.45$$

$$Y_c = 874.76$$

$$Y_k = 319.83$$

$$Y_l = 312.92$$

$$Y_m = 406.03$$

$$Y_p = 186.93$$

Luego con la ecuación 2.10 se calculó la suma de cuadrados entre grupos (SSB).

$$SSB = k \sum_{i=1}^n (Y_i - Y)^2 \quad (2.10)$$

$$SSB = 3[(322.93 - 481.94)^2 + (407.45 - 481.94)^2 + \dots + (874.76 - 481.94)^2 + (186.96 - 481.94)^2]$$

$$SSB = 3 \times 331276.64 = 993829.92$$

Luego con la ecuación 2.11 se calculó la suma de cuadrados medio de medias (SSW):

$$SSW = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k (Y_{ij} - Y_i)^2 \quad (2.11)$$

$$\begin{aligned} SSW_a &= (323.05 - 322.93)^2 + (315.21 - 322.93)^2 + (328.53 - 322.93)^2 \\ &= 0.01 + 59.62 + 31.38 = 91.01 \end{aligned}$$

$SSW_b \dots$

$$SSW = 91.01 + 135.27 + 1245.84 + 5.55 + 9.33 + 40.78 + 49.70 = 1577.48$$

Calculamos el cuadrado medio entre (MSB):

$$\begin{aligned} MSB &= \frac{SSB}{n - 1} \\ MSB &= \frac{993829.92}{6} = 165638.32 \end{aligned}$$

Se calculó con la ecuación 2.12 el cuadrado medio dentro de los grupos (MSW):

$$\begin{aligned} MSW &= \frac{SSS}{n(k-1)} \quad (2.12) \\ MSW &= \frac{1577.48}{7(3-1)} = 112.68 \end{aligned}$$

Por último, se obtuvo el coeficiente de correlación intraclase (ICC) con la ecuación 2.13:

$$\begin{aligned} ICC &= \frac{MSB - MSW}{MSB + (K-1)MSW} \quad (2.13) \\ ICC &= \frac{165638.32 - 112.68}{165638.32 + 2 * 112.68} \\ ICC &= 0.998 \end{aligned}$$

Tabla 5*Criterios de interpretación del Coeficiente de Correlación Intraclase*

ICC Valor	Interpretación
< 0.5	Pobre fiabilidad
0.5 - 0.75	Fiabilidad moderada
0.75 - 0.9	Buena fiabilidad
≥ 0.9	Excelente fiabilidad

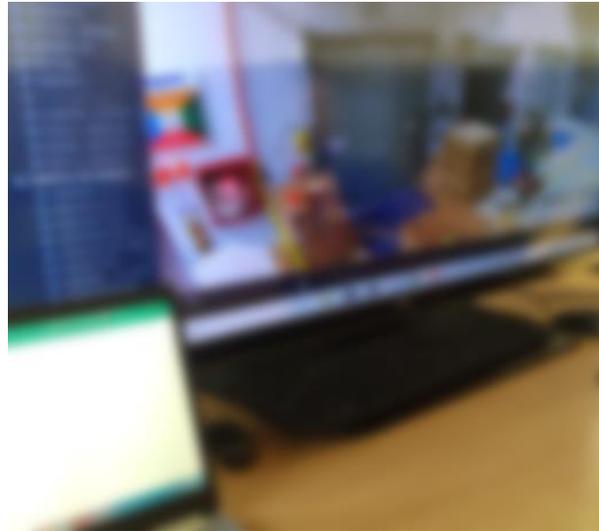
Según la Tabla 5, con un ICC de 0.998, se concluye que las mediciones son altamente confiables y consistentes entre los observadores y métodos evaluados (AUTOCAD, Persona 1 y Persona 2). Esto es crucial para garantizar la precisión y validez de las mediciones realizadas en el estudio o análisis en cuestión.

2.2.2.2. Número de cámaras por área

Con respecto al número de cámaras por área, se realizó un conteo inicial empleando el sistema de CCTV para verificar la distribución y ubicación de cámaras en cada zona asignada como se muestra en la Figura 5. Este proceso incluyó revisar el número total de cámaras que debían estar operativas en cada área según los registros del sistema.

Figura 5

Circuito cerrado de televisión del Centro de Distribución (CCTV)

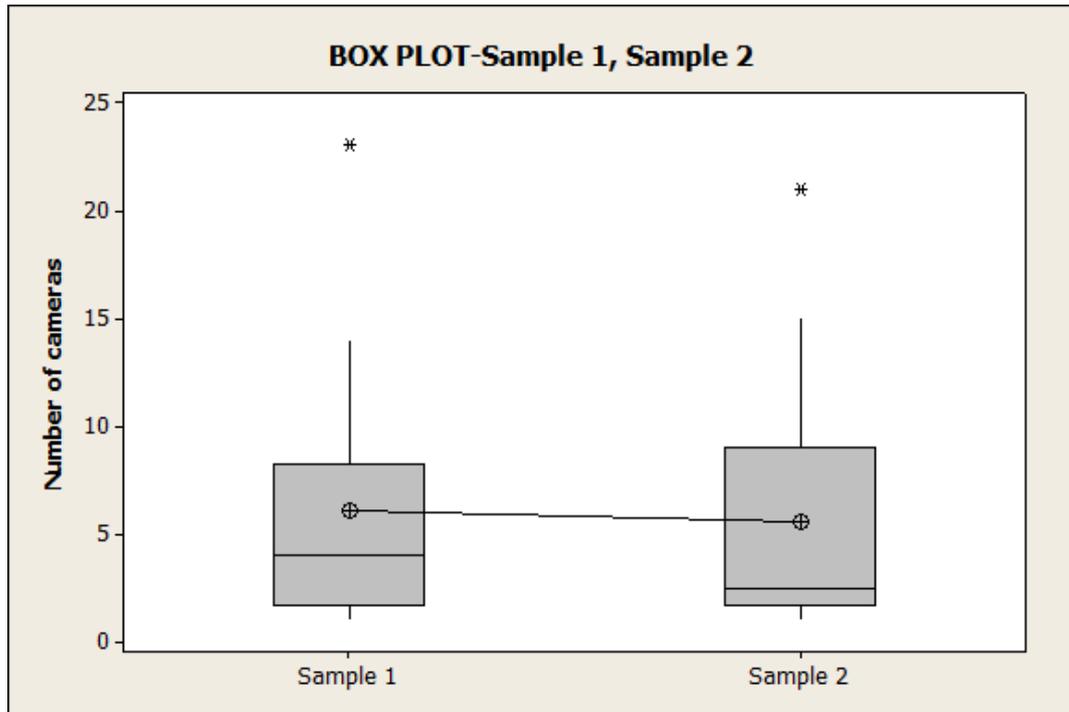


Después de este conteo inicial, se llevó a cabo recorridos físicos en cada zona para validar visualmente que las cámaras registradas estuvieran realmente instaladas y transmitiendo adecuadamente. Estas validaciones fueron fundamentales debido a los comentarios recibidos por parte del “Jefe de Seguridad y Asistente de Logística y Distribución”, quienes señalaron la presencia física de cámaras que no estaban registradas en el sistema de videovigilancia, lo que indicaba posibles discrepancias entre la instalación física y el registro administrativo.

Para asegurar la precisión de los resultados obtenidos, se utilizó una prueba estadística conocida como prueba T Student. Esta prueba es una técnica que permite determinar si hay una diferencia significativa entre las medias de dos grupos de datos independientes. En este contexto, se empleó para validar estadísticamente la discrepancia entre el número de cámaras físicamente instaladas y las registradas en el sistema de CCTV. Para llevar a cabo el análisis estadístico, se utilizó el software Minitab, una herramienta especializada en análisis estadístico.

Figura 6

Comparación de medias del registro física (muestra 1) y del CCTV(muestra 2)



Después de realizar la comparación de medias de datos como se observa en la Figura 6, se establecieron las siguientes hipótesis estadísticas:

H0 (hipótesis nula): Las medias de las dos muestras son iguales, es decir, $\mu_1 = \mu_2$.

H1 (hipótesis alternativa): Las medias de las dos muestras son diferentes, es decir, $\mu_1 \neq \mu_2$.

Utilizando una prueba estadística adecuada (como la prueba t de Student), se obtuvo un valor p de 0.820. El valor p es una medida que indica la probabilidad de obtener resultados tan extremos como los observados, asumiendo que la hipótesis nula es verdadera. En este caso, un valor p de 0.820 sugiere que no hay suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula.

Basándonos en este análisis, concluimos que no existe una diferencia significativa entre las dos muestras en términos del número de cámaras registradas versus las cámaras físicamente

instaladas. En otras palabras, los datos obtenidos no muestran una discrepancia estadísticamente significativa entre la cantidad de cámaras esperadas según el registro y las cámaras realmente presentes en el sitio.

2.2.2.3. Número de puntos ciegos y sobrecobertura

Al revisar las imágenes captadas por las cámaras de CCTV, se identificaron áreas con puntos ciegos y casos de sobrecobertura, donde las cámaras, a pesar de tener varios ángulos de enfoque, no proporcionaban una visión clara de ciertos procesos o áreas específicas. Los puntos ciegos y la sobrecobertura de las cámaras fueron detalladamente documentados por zona.

Este análisis se llevó a cabo en colaboración con el Cliente para asegurar que las soluciones cumplieran con sus requerimientos y necesidades específicas. Se verificó que no hubiera redundancias o duplicaciones innecesarias en la cobertura de las cámaras. Después de esta validación inicial, se procedió a inspeccionar físicamente las áreas identificadas como puntos ciegos para realizar un análisis detallado de la situación y buscar soluciones efectivas. A continuación, en la Tabla 6 se muestra una tabla resumen de los puntos ciegos y sobrecoberturas por cada área, la misma que está detallada en el (Apéndice D).

Tabla 6

Resumen de los puntos ciegos y sobrecobertura por cada área

Área	Punto ciego o sobrecobertura	Razón
A	Sobrecobertura	3 cámaras enfocan el mismo punto
A	Punto ciego	La cámara no cubre el área total
C	Punto ciego	Pilar que impide la visibilidad del proceso
C	Punto ciego	La cámara no cubre los andenes 28 y 29
C	Punto ciego	La cámara no cubre los andenes 35, 36 y 37
G	Sobrecobertura	3 cámaras enfocan las mismas plataformas 9, 10, 11, 12
G	Punto ciego	Pilar que impide la visibilidad del proceso
R	Sobrecobertura	3 cámaras enfocan el mismo punto

2.2.2.4. Número de cámaras que no funcionan

Para verificar el estado operativo de las cámaras en el centro de distribución, se implementó un método de medición utilizando el CCTV como se muestra en el (Apéndice C). Este sistema de circuito cerrado de televisión permitió identificar visualmente aquellas cámaras que no estaban en funcionamiento. Posteriormente, se procedió a validar esta información comparándola con la base de datos proporcionada por el proveedor. Esta base de datos sirvió como referencia para confirmar la correcta instalación de cada cámara según lo registrado.

La Tabla 7 detalla con el estado actual de las cámaras en el centro de distribución, proporcionando una visión clara de las áreas afectadas y los problemas específicos que enfrentan. En el caso de la zona "Calle #9 lado A" al igual que la del "Área de transportistas", se ha identificado que una cámara ha estado fuera de funcionamiento por más de seis meses debido a falta de mantenimiento. Este hallazgo subraya la necesidad urgente de implementar un programa de mantenimiento preventivo, asegurando así que todas las cámaras operen de manera continua y eficiente para mantener la seguridad en el centro de distribución.

Por otro lado, en el "Perímetro 1 y 2", se ha encontrado que, de las cuatro cámaras registradas visualmente, solo dos están disponibles tanto en el sistema de CCTV como según los registros del proveedor. Es importante destacar que estas cámaras están ubicadas en exteriores, lo que implica un desafío adicional debido a las condiciones climáticas y de exposición. Esta discrepancia destaca la necesidad de una gestión más efectiva y coordinada entre la supervisión visual y los registros de instalación, garantizando que todas las áreas críticas estén adecuadamente cubiertas por el sistema de videovigilancia.

Tabla 7*Resumen de las cámaras que no están en funcionamiento*

Área	Número total de cámaras	Cámaras no disponibles	Ubicación de la cámara	Tiempo sin funcionar	Descripción
I	22 registradas	1	NVR#1 Calle#9 lado A	Más de 6 meses	Falta de mantenimiento
P	4 registradas, 2 físicas	2	Exteriores	Más de 6 meses	En este perímetro hay 4 cámaras que fueron registradas visualmente, pero solo 2 están disponibles en el CCTV y según el proveedor, corresponden a los perímetros 1 y 2
Q	3 registradas	1	NVR#3 Área de transportista	Más de 6 meses	Falta de mantenimiento

2.2.2.5. Modelos de cámaras y resolución

Para obtener una comprensión más completa del sistema de videovigilancia en el centro de distribución, se contactó al proveedor del sistema para solicitar detalles sobre las marcas y modelos de cámaras recientemente instaladas. El proveedor facilitó una carpeta compartida que contenía información exhaustiva sobre las instalaciones de cámaras de seguridad y los sistemas aplicados. La marca de cámaras utilizadas en el centro de distribución es HIKVISION, una marca líder en la industria de la videovigilancia, reconocida por su innovación y calidad. Esta ofrece una amplia gama de productos de videovigilancia, incluyendo cámaras IP, sistemas de gestión de video, y soluciones de inteligencia artificial. Sus productos son conocidos por su alta resolución, fiabilidad y capacidad de integración con otros sistemas de seguridad. El software implementado en el sistema de videovigilancia del centro de distribución es iVSM-4200. Este software es una herramienta avanzada de gestión de video desarrollada por HIKVISION, diseñada para supervisar

y controlar múltiples cámaras de seguridad. iVSM-4200 permite la gestión centralizada de dispositivos, visualización en tiempo real, reproducción de video, y análisis avanzado de video, proporcionando una plataforma robusta y flexible para la administración de la seguridad.

Con la información proporcionada por el proveedor, se llevó a cabo una inspección visual de todas las cámaras en el centro de distribución para validar la implementación de los modelos especificados. Durante esta inspección, se confirmó que los siguientes modelos de cámaras HIKVISION están en uso en el centro de distribución como se visualiza en la Tabla 8. La inspección visual fue crucial para garantizar que los modelos instalados corresponden con la documentación proporcionada y para verificar su operatividad en las condiciones específicas del centro de distribución. Este análisis detallado asegura que las cámaras instaladas cumplen con los estándares de calidad y rendimiento necesarios para mantener la seguridad y la vigilancia efectiva en todas las áreas del centro.

Tabla 8

Tipos de cámaras en el centro de distribución

Cámara	Descripción técnica	Imagen de la cámara	Validación visual en el CD	Número de cámaras
HIKVISION DS-2CD2683G1-IZ	Resolución 8 MP, lente varifocal 2.8-12mm, WDR 120dB, IR hasta 50m, IP67, H.265+			10
HIKVISION DS-2CD2046G2-IU	Resolución 4 MP, lente fijo 2.8/4/6mm, WDR 120dB, IR hasta 30m, H.265+, micrófono incorporado			13

<p>HIKVISION DS-2DE4225IW-DE</p>	<p>Resolución 2 MP, zoom óptico 25x, IR hasta 100m, WDR 120dB, IP66, H.265+</p>			<p>4</p>
<p>HIKVISION DS-2CD1043G0-I</p>	<p>Resolución 4 MP, lente fijo 2.8mm, IR hasta 30m, H.265+, IP67</p>			<p>21</p>
<p>HIKVISION DS-2CD6362F-IVS</p>	<p>Resolución 6 MP, lente fisheye, vista panorámica 360°, WDR 120dB, IR hasta 15m, H.264</p>			<p>1</p>
<p>HIKVISION DS-2CD2083G0-I</p>	<p>Resolución 8 MP, lente fijo 2.8/4/6mm, WDR 120dB, IR hasta 30m, IP67, H.265+</p>			<p>28</p>
<p>HIKVISION DS-2CD1123G0E-I</p>	<p>Resolución 2 MP, lente fijo 2.8/4mm, IR hasta 30m, H.265+, IP67</p>			<p>30</p>

2.3. Análisis

2.3.1. Método de decisión de ponderación

Para la clasificación ABC, que se utilizará para analizar y determinar qué zonas del Centro de Distribución necesitan más atención, se llevó a cabo un enfoque estructurado. Este método implicará entrevistas con dos personas, Asistente de Logística de Distribución y Analista de Logística, acompañado de la evaluación de tres criterios específicos como se puede observar en la Tabla 9 y Tabla 10.

Tabla 9

Criterios para la clasificación ABC

Definición de criterios		Peso
1	Valor de los productos almacenados: ¿Qué valor tienen los productos almacenados en la zona?	40%
2	Frecuencia de acceso: ¿Con qué frecuencia el personal y el equipo acceden al área?	30%
3	Necesidades de seguridad: ¿Qué nivel de seguridad se requiere en el área debido a su contenido o actividad?	30%

Tabla 10

Escala de evaluación para la clasificación ABC

Escala de evaluación	
1	Menos crítico
2	Moderadamente crítico
3	Muy crítico

Así mismo, en base aquellos criterios se obtuvo los siguientes resultados de la Tabla 11.

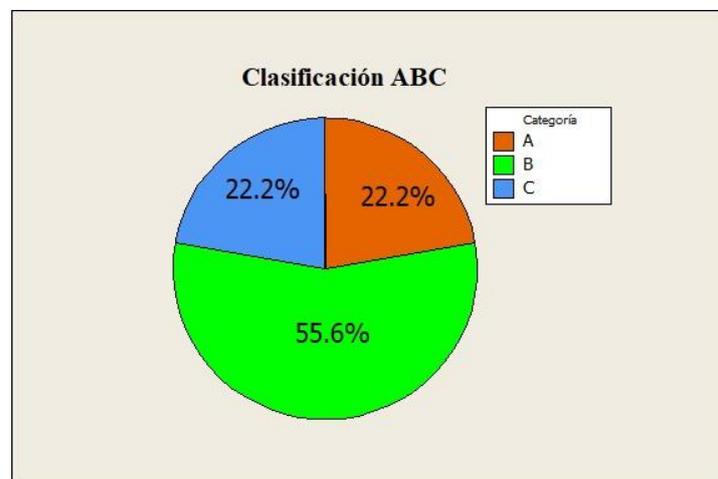
Tabla 11

Resultados de la evaluación para la clasificación ABC

ÁREA	Asistente de Logística de Distribución			Analista de Logística			Total
	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	
A	2	3	2	1	3	3	4,5
B	2	2	2	3	1	2	4,1
C	2	2	2	3	3	3	5
D	2	3	3	1	3	2	4,5
E	2	2	2	2	3	2	4,3
F	2	3	3	2	3	2	4,9
G	2	2	2	3	3	3	5
H	3	2	3	3	2	3	5,4
I	3	2	3	3	2	3	5,4
J	2	2	2	3	2	2	4,4
k	2	2	2	2	2	1	3,7
l	2	2	2	2	3	2	4,3
M	2	3	2	1	1	2	3,6
N	2	2	2	3	2	3	4,7
O	2	3	3	1	2	2	4,2
P	2	2	2	2	1	1	3,4
Q	2	2	2	1	2	2	3,6
R	2	3	2	2	3	2	4,6

Figura 7

Clasificación ABC



Se ha clasificado las áreas en tres categorías según el valor de los productos almacenados, la frecuencia de acceso y las necesidades de seguridad. Los resultados de la clasificación como se muestra en la Figura 7 son los siguientes:

- **Clase A:** Estas áreas son críticas debido al alto valor de los productos almacenados y la frecuencia de acceso. Requieren una cobertura completa de cámaras de seguridad para evitar puntos ciegos y garantizar la protección adecuada.

Zonas: H, I, C, G (total: 4 áreas).

- **Clase B:** Estas áreas tienen un valor moderado y operaciones regulares. Necesitan una vigilancia adecuada para asegurar un monitoreo constante y eficiente de las actividades.

Zonas: F, N, R, A, D, J, E, L, O, B (total: 10 áreas).

- **Clase C:** Aunque estas áreas son menos críticas, aún requieren monitoreo para mantener la integridad operativa del centro de distribución.

Zonas: K, Q, M, P (total: 4 áreas).

2.3.2. Dimensiones del CD (m^2)

Al analizar los resultados de la Figura 8, se observa que las áreas más grandes del centro de distribución son O, I, H y D. Sin embargo, el tamaño de estas áreas no implica necesariamente que necesiten un mayor número de cámaras o una mayor cobertura. Es fundamental considerar otros factores, como el alcance de las cámaras que se van a instalar, los objetos presentes en cada zona y las actividades que se realizan en ellas.

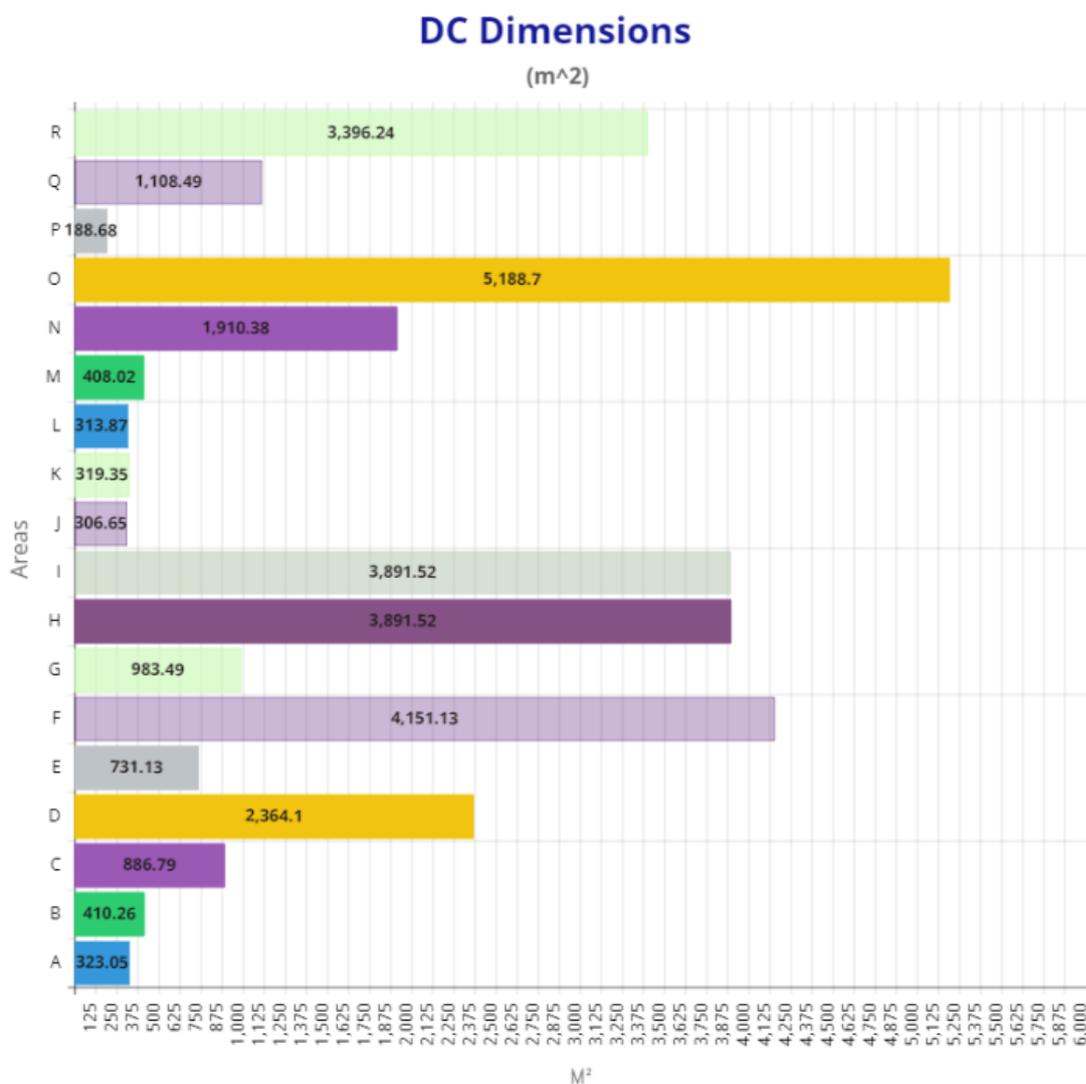
Comprender las dimensiones de las áreas del centro de distribución permitirá relacionarlas con la cobertura de grabación de los equipos de videovigilancia a implementar. Esto asegura una vigilancia eficiente y adecuada para cada zona. En contraste, las áreas más pequeñas, como P, J, K, L, B y A, podrían requerir un enfoque diferente. Dado que estas son áreas cerradas, el alcance

o el ancho de las lentes de grabación debe ser menor, con un enfoque en capturar movimientos a distancias cercanas.

Este análisis integral garantiza que la videovigilancia se adapte de manera precisa a las características y necesidades específicas de cada área del centro de distribución, optimizando así la seguridad y eficiencia operativa.

Figura 8

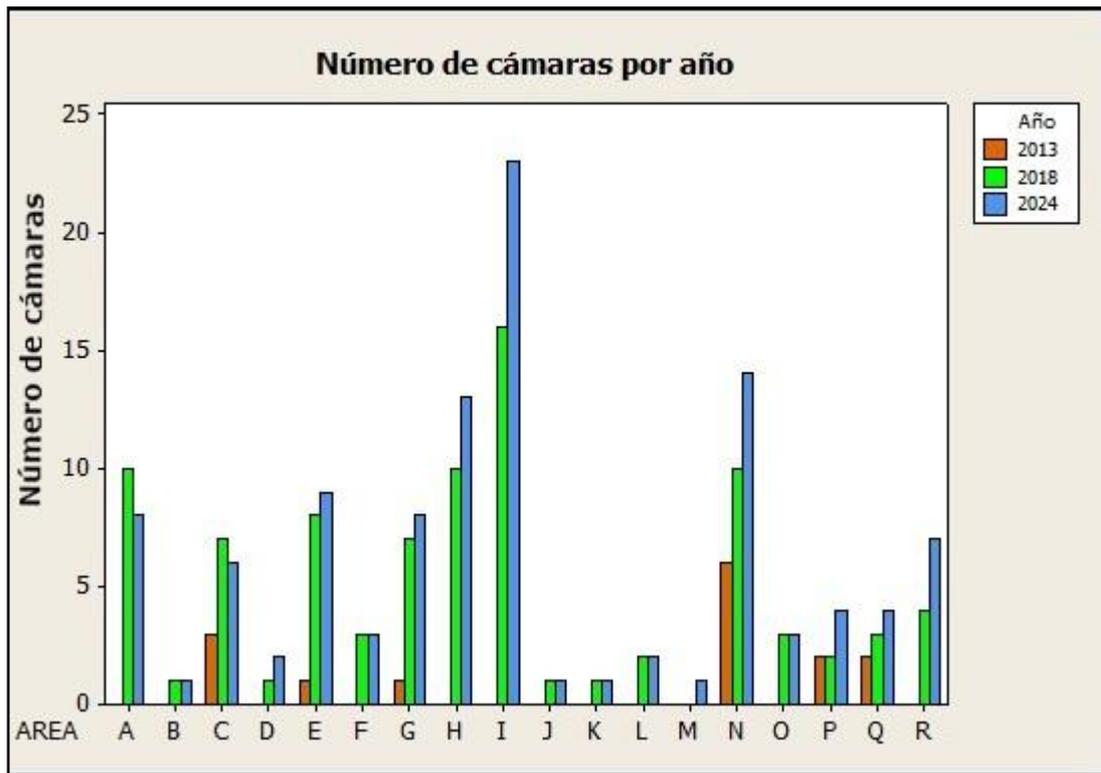
Resultado de las dimensiones de cada área del CD



2.3.3. Número de cámaras por área

Figura 9

Número de cámaras por año (2013,2018,2024)



El año 2023 y 2018 marcan los puntos de referencia para la planificación inicial teórica de la distribución de cámaras según los planos proporcionados por la empresa. Durante el período comprendido entre 2013 y 2018, se observó un incremento notable en el número de cámaras instaladas como se observa en la Figura 9. Este aumento significativo refleja una fase de expansión estratégica destinada a mejorar la cobertura y la seguridad en el centro de distribución.

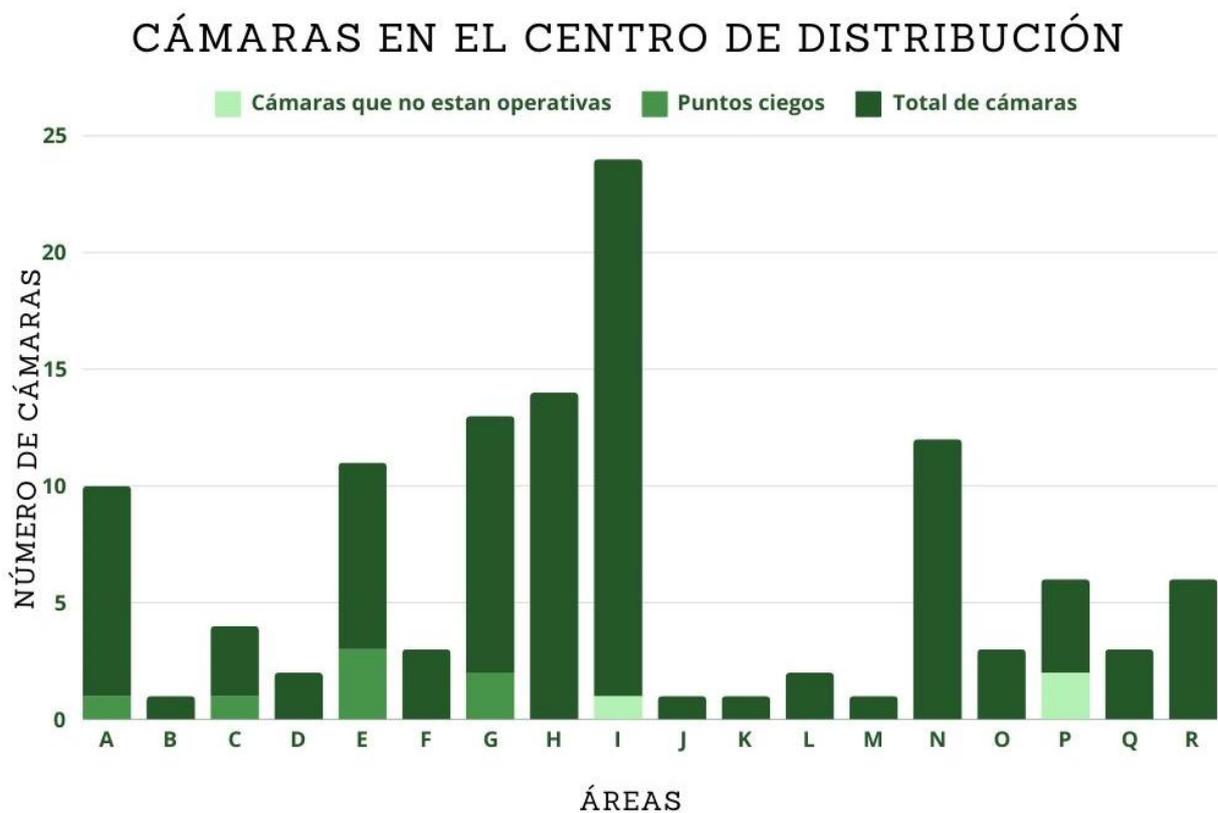
En contraste, el análisis del período posterior, de 2018 a 2024, revela una tendencia hacia la estabilización o incluso una ligera disminución en el número de cámaras. Esta fase sugiere que, después de la fase inicial de expansión, se alcanzó un punto óptimo en cuanto a la cobertura de videovigilancia. Las adiciones o ajustes realizados durante este período se centraron en optimizar

la eficiencia y la funcionalidad del sistema de seguridad existente, en lugar de aumentar la cantidad de cámaras.

2.3.4. Puntos ciegos y cámaras que no funcionan por área

Figura 10

Resumen de las cámaras operativas y puntos ciegos por área



La presencia de puntos ciegos, incluidas las cámaras que no funcionan adecuadamente como se muestra en la Figura 10, representa un riesgo significativo para la seguridad del centro de distribución. Estos puntos limitan la capacidad de detectar incidentes y de responder rápidamente a ellos, lo que puede resultar en vulnerabilidades aumentadas frente a robos, daños a la propiedad o riesgos para la seguridad del personal.

Es crucial priorizar la resolución de cámaras no operativas y eliminar los puntos ciegos de manera continua y proactiva. Esto implica varias medidas:

- **Resolución de Cámaras No Operativas:** Se debe implementar un proceso riguroso para identificar y reparar las cámaras que no están funcionando correctamente. Esto asegura que todas las áreas críticas del centro de distribución estén debidamente monitoreadas en todo momento.
- **Instalación de Cámaras Adicionales:** Donde sea necesario, se pueden agregar cámaras adicionales para cubrir áreas previamente desatendidas o para mejorar la cobertura en zonas especialmente vulnerables.
- **Reubicación Estratégica de Equipos:** Evaluar la ubicación actual de las cámaras y, si es necesario, reubicarlas estratégicamente para optimizar la visibilidad y minimizar los puntos ciegos.

Actualización de Tecnologías de Vigilancia: Incorporar tecnologías más avanzadas de vigilancia que permitan una mejor calidad de imagen, mayor alcance y capacidades de monitoreo en tiempo real. Esto incluye la implementación de sistemas de videovigilancia IP y el uso de análisis de video para una detección más precisa de eventos.

Al abordar estos aspectos, se mejora significativamente la seguridad general del centro de distribución. Esto no solo reduce los riesgos de incidentes, sino que también fortalece la capacidad de respuesta ante situaciones de emergencia, garantizando así un entorno de trabajo más seguro y protegido para todos los involucrados.

2.4. Propuestas de diseño

2.4.1. Propuesta 1: Simulación de cobertura – Axis Site Designer

La simulación de cobertura en Axis Site Designer se refiere al proceso de modelar y visualizar la distribución de cámaras de videovigilancia de Axis en un entorno específico, como un edificio, área o campus. Esta herramienta permite a los usuarios diseñar virtualmente la instalación de cámaras, ajustando parámetros como la ubicación, altura y configuración de cada

dispositivo para optimizar la cobertura visual y la efectividad de la vigilancia como se visualiza en la Figura 11. La simulación de cobertura ayuda a planificar de manera precisa la instalación de cámaras, identificando puntos ciegos potenciales y asegurando una cobertura óptima para mejorar la seguridad y supervisión del área designada.

Figura 11

Simulador Axis Site Designer



Fuente: (Axis Site Designer, s.f.)

2.4.2. Propuesta 2: Simulación de cobertura – Genetec Security Center

La simulación de cobertura en Genetec Security Center de la Figura 12, se refiere al proceso de modelar y visualizar la cobertura de cámaras de videovigilancia en un entorno específico, como un edificio, instalación o área exterior. Esta funcionalidad permite a los usuarios planificar y optimizar la disposición de cámaras dentro de un sistema de seguridad. Utilizando herramientas de diseño virtual, los usuarios pueden simular la ubicación y orientación de cámaras en el espacio físico, ajustando parámetros como la altura, ángulo de visión y tipo de lente para garantizar una cobertura efectiva de vigilancia. La simulación de cobertura ayuda a identificar y

corregir posibles áreas sin vigilancia (puntos ciegos) y asegura una supervisión adecuada y segura del entorno protegido.

Figura 12

Simulador Genetec Security Center



Fuente: (Genetec, s.f.)

2.4.3. Propuesta 3: Modelo Matemático de programación lineal

El modelo de programación lineal propuesto está diseñado para optimizar la distribución de cámaras en un centro de distribución con el objetivo de maximizar la cobertura total del área disponible. Este enfoque se basa en la técnica de programación lineal y considera un conjunto de áreas en la planta, cada una con un área específica y un parámetro que representa el alcance de cobertura de las cámaras. La función objetivo del modelo busca maximizar la cobertura total, mientras que las restricciones aseguran que la cobertura no supere el área disponible en cada sección, que el número de cámaras sea no negativo y que sea un número entero positivo. Este

modelo proporciona una solución eficiente para la distribución de cámaras en el centro de distribución, equilibrando la cobertura deseada con las limitaciones prácticas del espacio.

Conjuntos

I Conjunto de áreas en la planta $\{1,2,\dots,18\}$

Parámetros

M_i Metros cuadrados de área $i \in A$

C Alcance de cobertura de la cámara en metros cuadrados

Variable de decisión

X_i Número de cámaras que se ubicarán en el área i

Función Objetivo

Maximizar la cobertura total del centro de distribución

$$Max = \sum_{i \in I} X_i C$$

Restricciones

$$\sum_{i \in I} X_i C \leq \sum_{i \in I} M_i \quad \forall i \in I \quad (1)$$

$$X_i \geq 0 \quad \forall i \in I \quad (2)$$

$$X_i \in Z^+ \quad \forall i \in I \quad (3)$$

- Restricción 1: Asegura que la cantidad de área cubierta por las cámaras en cada zona no exceda el área disponible en esa zona específica.

- Restricción 2: indica que el número de cámaras no puede ser negativo.
- Restricción 3: el número de cámaras debe ser un entero positivo.

1.1.1 Propuesta 4: Modelo Matemático de programación entera mixta (MILP)

El modelo de programación entera mixta (MILP) presentado optimiza la distribución y el reemplazo de cámaras en un centro de distribución, combinando variables continuas y binarias para lograr una cobertura eficiente. Este modelo integra parámetros como el rango de cobertura de las cámaras, la disponibilidad de unidades, y la vida útil de cada cámara, con el objetivo de maximizar el uso de cámaras mientras se garantiza una cobertura adecuada en todas las áreas y subáreas. La función objetivo es maximizar el número total de cámaras utilizadas, mientras que las restricciones aseguran que cada subárea esté suficientemente cubierta y que el número de cámaras no exceda los recursos disponibles, al mismo tiempo que se gestiona el reemplazo de cámaras basado en su vida útil. Este enfoque proporciona una solución robusta y práctica para una gestión efectiva del sistema de vigilancia.

Conjuntos

A Conjunto de áreas en la planta $\{1,2,\dots,18\}$

I Conjunto de subáreas por área $\{1,2,\dots,23\}$

J Tipo de cámara $\{PTZ, IP\}$

K Número máximo de cámaras por área $\{1,2,\dots,23\}$

Parámetros

C_j Rango de cobertura de la cámara j en metros cuadrados

V_j Número total de cámaras disponibles

m_{ai} Metros cuadrados de la subárea i en el área A

L_{ak} Vida útil de cada cámara específica k en el área A (años)

T_{ak} Tiempo de uso de cada cámara específica k en el área A (años)

Variables

Z : Número total de cámaras utilizadas

X_{aij} Número de cámaras del tipo j en la subárea i del área A

$Cover_a$: Total de cobertura en cada área

$CoverPercent_a$: Porcentaje de cobertura en cada área

Variable binaria

$$R_{ak} \begin{cases} 1, Si es necesario reemplazar la cámara específica k en el área A \\ 0, Caso contrario \end{cases}$$

Función Objetivo

$$Z = \sum_{a \in A} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} X_{aij}$$

Restricciones

$$\sum_{j \in J} X_{aij} * C_j \geq m_{ai}, \quad \forall a \in A, \forall i \in I \quad (1)$$

$$\sum_{a \in A} \sum_{i \in I} X_{aij} \leq v_j, \quad \forall j \in J \quad (2)$$

$$T_{ak} - (L_{ak} * R_{ak}) \leq L_{ak}, \quad \forall a \in A, \forall k \in K \quad (3)$$

$$Cover_a \geq \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} X_{aij} * C_j, \quad \forall a \in A \quad (4)$$

$$CoverPercent_a = \frac{Cover_a}{\sum_{i \in I} m_{ai}} * 100, \quad \forall a \in A \quad (5)$$

$$CoverPercent_a \leq 100, \quad \forall_a \quad (6)$$

$$X_{aij} \geq 0, \quad \forall_a \in A, \forall_i \in I, \forall_j \in J, \quad (7)$$

$$R_{ak} \in \{0,1\} \quad \forall_a \in A, \forall_k \in K, \quad (8)$$

- **Restricción 1:** La cobertura, en metros cuadrados, proporcionada por las cámaras debe ser al menos igual a los metros cuadrados de la subárea de cada área.
- **Restricción 2:** El número total de cámaras de cada tipo no debe exceder el número disponible.
- **Restricción 3:** Vida útil de la cámara, en años, donde el tiempo usado por la cámara menos la vida útil multiplicada por el indicador de reemplazo no debe exceder la vida útil.
- **Restricción 4:** La cobertura total, en metros cuadrados, de un área debe ser al menos igual a la suma de la cobertura proporcionada por todas las cámaras en todas las subáreas de esa área.
- **Restricción 5:** Porcentaje de cobertura para cada área.
- **Restricción 6:** Asegurar que el porcentaje de cobertura excedente no exceda el 100%.
- **Restricción 7:** Asegurar que el número de cámaras de cada tipo en cada subárea sea no negativo.
- **Restricción 8:** Definir que la variable de reemplazo de la cámara es binaria, es decir, puede ser solo 0 o 1.

2.4.4. Comparativa de las propuestas

La ponderación de los puntajes se realizó considerando los pesos relativos proporcionados por el QFD para cada especificación de diseño, como se observa en la Figura 4. Este enfoque asegura que las propuestas sean evaluadas de manera equitativa, teniendo en cuenta las ponderaciones de 1, 3 y 9 asignadas a diferentes aspectos clave del proyecto. De esta manera, se refleja adecuadamente la importancia relativa de cada especificación en la decisión final sobre la selección del modelo más adecuado.

Tabla 12

Comparativa con las especificaciones de diseño

Propuestas/ Especificaciones	100% de cámaras operativas	0 puntos ciegos actuales por área	Alcance o cobertura total de cámara por área superior a 85%	Al menos 1080p para todas las cámaras	Total
Propuesta 1	1	9	9	3	6.14
Propuesta 2	1	9	9	3	6.14
Propuesta 3	3	1	9	1	3.32
Propuesta 4	9	1	9	9	6.20
Peso relativo del QFD	20%	35%	24%	21%	

Basándonos en las especificaciones proporcionadas, se muestra en la Tabla 12 que la “Propuesta 4 (Modelo MILP)” parece ser la más adecuada ya que cumple con cámaras operativas al 100%, una cobertura total superior al 85% por área, y todas las cámaras con una resolución mínima de 1080p. Sin embargo, se debe considerar una inspección visual adicional para abordar los puntos ciegos, ya que su consideración en el modelo como parámetro o restricción es muy variable, dado que se deben tener en cuenta las necesidades específicas del cliente en cuanto a lo que desean identificar y los objetos dentro de las áreas.

2.5. Análisis Financiero

- **Propuesta 1: Simulación de cobertura – Axis Site Designer**

Tabla 13

Simulador Axis Site Designer

Concepto	Detalle	Costo estimado
Diseñador de sitios de Axis (software)	Costo del software	\$0
Personal	Ingeniero de Sistemas (75 horas a \$12/hora)	\$900
	Técnico de instalación (150 horas a \$4/hora)	\$600
Total estimado		\$1.500

- **Propuesta 2: Simulación de cobertura – Genetec Security Center**

Tabla 14

Genetec Security Center

Concepto	Detalle	Costo estimado
Centro de seguridad de Genetec	Licencia básica	\$3.000
	Licencias de cámara (100 cámaras a \$150 cada una)	\$15.000
	Mantenimiento anual (17,5% de \$18.000)	\$3.150
Personal	Ingeniero de Sistemas (75 horas a \$12/hora)	\$900
	Técnico de instalación (150 horas a \$4/hora)	\$600
Total estimado		\$22.650

- **Propuesta 3 y 4: Modelo Matemático de programación lineal y Modelo Matemático de programación entera mixta (MILP)**

Tabla 15*Análisis financiero propuesta 3 y 4*

Concepto	Descripción	Costo estimado (USD)
Software de planificación	Costo del software de diseño y planificación (p. ej., GAMS, software de cámara)	\$2.000
Programador / Consultor	Costo de programador o consultor para implementar el modelo GAMS	\$7.040
Capacitación del personal	Costos asociados a la capacitación interna del personal.	\$3.000
Licencias y permisos	Licencias y permisos de software necesarios para la instalación.	\$1.500
Costo total estimado del proyecto		\$13.540

2.6. Desarrollo de propuesta de diseño

2.6.1 Implementación del modelo en GAMS

En esta sección, abordaremos la implementación del modelo previamente seleccionado utilizando el software GAMS (General Algebraic Modeling System). GAMS es una herramienta poderosa para la formulación y resolución de modelos matemáticos complejos, que se destaca por su flexibilidad y capacidad para manejar grandes sistemas de ecuaciones y optimización.

La implementación del modelo en GAMS implica traducir la representación teórica del modelo en una estructura que el software pueda interpretar y procesar. Este proceso incluye la definición de variables, parámetros, ecuaciones y restricciones, así como la configuración de los datos necesarios para ejecutar el modelo de manera efectiva.

2.6.1.1 Definición de Conjuntos (Sets)

I: Conjunto de subáreas dentro de un área, numeradas del 1 al 23.

A: Conjunto de áreas en el centro de distribución (DC), numeradas del 1 al 18.

J: Conjunto de tipos de cámaras disponibles, con dos tipos numerados como 1 y 2.

k: Conjunto que define los números de cámaras por área, numeradas del 1 al 23.

2.6.1.2 Definición de Parámetros (Parameters)

c(j): Este parámetro define el rango de cobertura en metros cuadrados para cada tipo de cámara:

- Tipo 1 (PTZ): 600 metros cuadrados.
- Tipo 2 (IP): 450 metros cuadrados.

v(j): Este parámetro define el número total de cámaras disponibles para cada tipo:

- Tipo 1 (PTZ): 4 cámaras disponibles.
- Tipo 2 (IP): 104 cámaras disponibles.

2.6.1.3 Uso del Tiempo, en Años, para Cada Cámara Específica k en el Área A

La tabla $T(A,K)$ muestra el tiempo de uso, en años, de cada cámara específica en las diferentes áreas del centro de distribución. Esta información es crucial para el modelo, ya que permite evaluar la antigüedad de las cámaras instaladas y tomar decisiones sobre su posible reemplazo o mantenimiento.

- **Áreas (A)**: Las filas de la tabla corresponden a las distintas áreas numeradas del 1 al 18 en el centro de distribución.
- **Cámaras (K)**: Las columnas representan las cámaras específicas instaladas en esas áreas, numeradas del 1 al 23.

En 2018, la mayoría de las cámaras se instalaron por lo que se usaron 6 años. Sin embargo, en algunas áreas, las cámaras fueron añadidas en 2022 y 2024, lo que significa que solo han estado en funcionamiento durante 2 a 4 años. Este detalle es importante para identificar las cámaras que pueden necesitar una actualización o reubicación en función de su antigüedad.

2.6.1.4 Metros Cuadrados por Subárea

La tabla $m(A,I)$ detalla la superficie en metros cuadrados de cada subárea I dentro de cada área A en el centro de distribución. Esta información es esencial para determinar la cobertura requerida por las cámaras y optimizar su ubicación.

- **Áreas (A):** Las filas corresponden a las áreas numeradas del 1 al 18.
- **Subáreas (I):** Las columnas representan las subáreas específicas dentro de cada área, numeradas del 1 al 23.

Cada celda de la tabla indica la superficie en metros cuadrados de una subárea específica dentro de un área dada. Por ejemplo, en el área 1, la subárea 1 tiene una superficie de 500 m². Esta distribución de superficies es crucial para el modelo, ya que permite ajustar el número y tipo de cámaras necesarias para cubrir cada subárea, evitando puntos ciegos y optimizando los recursos disponibles.

2.6.1.5 Variables

- **$x(A, I, J)$:** Número de cámaras de tipo j en la subárea i del área A . Esta variable es clave para determinar cuántas cámaras de cada tipo se instalan en cada subárea.
- **$cover(A)$:** Cobertura total en cada área A . Es la suma de las coberturas de las subáreas en el área A .
- **$coverPercent(A)$:** Porcentaje de cobertura en cada área A . Es una variable calculada que representa el porcentaje del área total que está cubierta por las cámaras.

- **z**: Número total de cámaras usadas. Esta variable se minimiza en la función objetivo para optimizar el número total de cámaras instaladas.

2.6.1.6 Variables Enteras

x(A, I, J): Aunque ya se definió antes, aquí se especifica que $x(A, I, J)$ es una variable entera, es decir, solo puede tomar valores enteros, ya que no se puede instalar una fracción de cámara.

Variables Binarias

R(A, k): Es una variable binaria que toma el valor de 1 si una cámara específica K en el área A necesita ser reemplazada, y 0 en caso contrario.

2.6.1.7 Ecuaciones

OF: Función objetivo que minimiza z, es decir, el número total de cámaras instaladas.

c1: Restricción de cobertura que asegura que la suma de las coberturas proporcionadas por las cámaras en una subárea i del área A es al menos igual a la cobertura requerida $m(A, I)$.

c2: Restricción que limita el número de cámaras de cada tipo j instaladas en cada subárea.

c3: Restricción relacionada con la vida útil de las cámaras, posiblemente asegurando que las cámaras no se mantengan instaladas más allá de un tiempo específico.

coverageConstraint: Ecuación que asegura que la cobertura total del área A es la suma de las coberturas proporcionadas por las cámaras en todas las subáreas I de A.

coveragePercentCalc: Ecuación que calcula el porcentaje de cobertura $coverPercent(A)$ para cada área A.

2.6.2 Implementación del Software System Surveyor

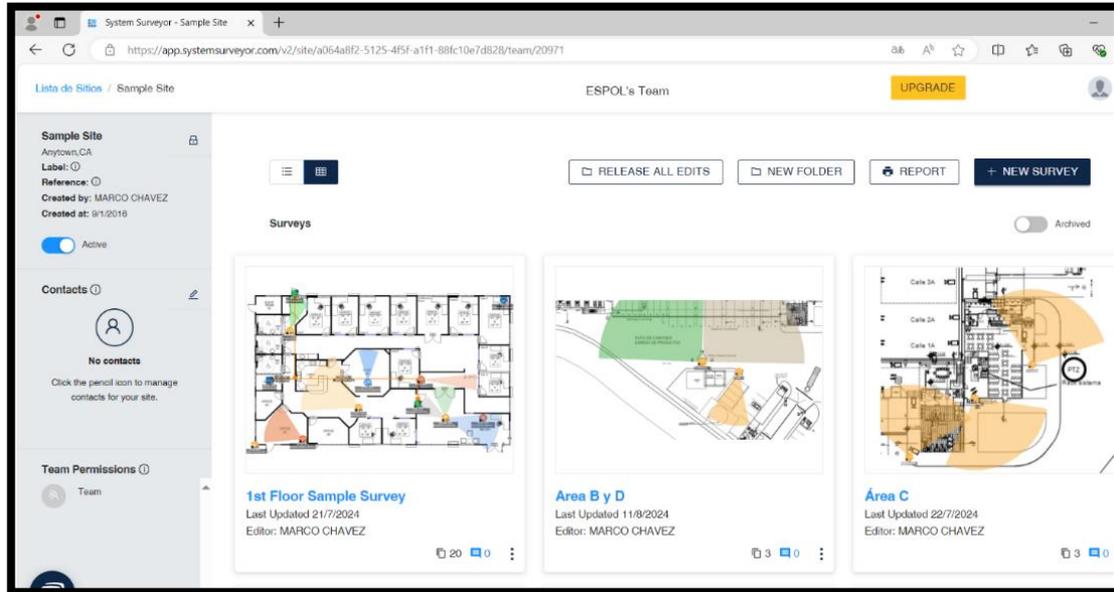
Con el modelo de localización desarrollado, pudimos calcular de manera precisa cuántas cámaras son necesarias en cada área del Centro de Distribución para garantizar una cobertura

adecuada. Este modelo consideró factores como el tamaño de las áreas, la importancia de cada una según su clasificación, y las características técnicas de los diferentes tipos de cámaras disponibles.

El siguiente paso en el proceso es utilizar el software System Surveyor, una herramienta especializada en la planificación y diseño de sistemas de seguridad. Con este software, no solo se verifica la cantidad de cámaras calculadas, sino que también se simula su ubicación exacta dentro de cada área. System Surveyor permite crear un plano interactivo del Centro de Distribución donde se pueden colocar virtualmente las cámaras, ajustando su posición y ángulo para asegurar que no haya puntos ciegos.

Esta simulación nos ayuda a identificar la mejor disposición para maximizar la cobertura de vigilancia y minimizar la superposición innecesaria entre cámaras.

Además, el software facilita la visualización de posibles mejoras en el diseño, como la reubicación de cámaras para cubrir áreas críticas o la optimización del campo de visión de cada dispositivo. De este modo, combinamos la precisión matemática del modelo de localización con la capacidad de simulación detallada de System Surveyor, garantizando un sistema de seguridad robusto y bien planificado.

Figura 13*Simulación en System Surveyor*

2.7 Plan de implementación de prototipo

La implementación de un plan de prototipo es un paso crítico en la validación y optimización de cualquier sistema o proyecto, especialmente en entornos complejos como el diseño de sistemas de seguridad. Este plan como se muestra en la Tabla 16 pretende realizar una fase de prueba controlada, donde se pone en marcha un modelo a pequeña escala del sistema completo. A través de este proceso, se busca identificar posibles problemas, evaluar el rendimiento real del sistema, y realizar ajustes necesarios antes de una implementación a gran escala.

Tabla 16

Plan de prototipo

ETAPAS	DESCRIPCIÓN	RESPONSABLES	LUGAR ¿DÓNDE?	FECHA DE INICIO	FECHA FIN	ESTADO DE VALIDACIÓN	
Etapa 1	Necesidades del cliente	Marco Chávez Allisson De La O	Reunión en CD y por Zoom	20/05/2024	24/05/2024	Asesoramiento de proyectos y reunión con cliente clave	100%
	Especificaciones de diseño			25/05/2024	29/05/2024		
	Diseño de objetivos			30/05/2024	04/06/2024		
	Plan de recolección de datos			05/06/2024	07/06/2024		
Etapa 2	Recopilación y fiabilidad de datos	Marco Chávez Allisson De La O	Reunión en CD y por Zoom	10/06/2024	28/06/2024	Asesoramiento de proyectos y reunión con cliente clave	100%
	Análisis de datos			17/06/2024	28/06/2024		
	Opciones de diseño			29/06/2024	05/07/2024		
Etapa 3	Diseño de soluciones propuestas	Marco Chávez Allisson De La O	Reunión en CD y por Zoom	06/07/2024	30/07/2024	Asesoramiento de proyectos y reunión con cliente clave	100%
	Plan prototipo			23/07/2024	02/08/2024		
Etapa 4	Validación de diseño	Marco Chávez Allisson De La O	Reunión en CD y por Zoom	03/08/2024	09/08/2024	Asesoramiento de proyectos y reunión con cliente clave	100%
	Realizar ajustes al modelo			10/08/2024	16/08/2024		
	Diseño de prototipo final			17/08/2024	22/08/2024		
	Análisis e impacto de resultados			23/08/2024	27/08/2024		
	Compartir proyecto con cliente clave			28/08/2024	30/08/2024		

CAPÍTULO 3

3. Resultados y análisis

3.1. Análisis de resultados

El modelo desarrollado en GAMS ha determinado que, para asegurar una cobertura del 100% en todas las áreas del Centro de Distribución, se necesitan 99 cámaras. Este resultado es crucial, ya que proporciona una base sólida para la planificación de la instalación del sistema de vigilancia.

En la tabla 17 se muestra la comparación entre el estado actual de distribución de cámaras y los resultados obtenidos mediante el modelo GAMS destaca ajustes importantes en la asignación de recursos de vigilancia dentro del Centro de Distribución. Específicamente, se observa que el número de cámaras tipo PTZ (Pan-Tilt-Zoom) permanece constante en la mayoría de las áreas, lo que sugiere que estas cámaras, con su capacidad de movimiento y enfoque dinámico, ya están ubicadas de manera óptima.

En cuanto a las cámaras tipo IP, que ofrecen una cobertura más estática, se han realizado ajustes significativos en varias áreas. Por ejemplo, en el Área A, se redujo el número de cámaras IP de 8 a 6, lo que refleja una optimización en la cobertura sin comprometer la seguridad. De manera similar, en el Área G, el número de cámaras IP disminuyó de 11 a 6, indicando una mejora en la eficiencia sin generar redundancias innecesarias. En ciertas áreas como E y N, el modelo GAMS sugiere un incremento en el número de cámaras IP, de 8 a 9 en el área E, y de 12 a 14 en el área N. Este ajuste responde a la necesidad de cubrir posibles puntos ciegos que no se consideraron adecuadamente en la configuración actual.

Tabla 17*Resultados del modelo de GAMS*

Área	Estado actual		GAMS resultados	
	#Cámaras PTZ	#Cámaras IP	#Cámaras PTZ	#Cámaras IP
A	1	8	1	6
B	0	1	0	1
C	0	3	0	3
D	0	2	0	2
E	0	8	0	9
F	2	1	2	1
G	0	11	0	6
H	0	14	0	13
I	0	23	0	23
J	0	1	0	1
K	0	1	0	1
L	0	2	0	2
M	0	1	0	1
N	0	12	0	14
O	1	2	1	1
P	0	2	0	2
Q	0	2	0	3
R	0	6	0	4

Sin embargo, es importante señalar que este cálculo se centra únicamente en asegurar que todas las áreas estén cubiertas en términos generales, sin considerar posibles puntos ciegos o la redundancia por sobrecobertura que podrían surgir en la disposición final de las cámaras. Estos factores son igualmente importantes para garantizar la efectividad del sistema, ya que la presencia de puntos ciegos podría comprometer la seguridad, y la sobrecobertura podría llevar a un uso ineficiente de recursos.

Por esta razón, la simulación adicional con el software System Surveyor será esencial. Este software permitirá ajustar la ubicación de las cámaras para minimizar los puntos ciegos y evitar una cobertura innecesariamente redundante, asegurando que cada cámara esté posicionada de manera óptima para maximizar la eficacia del sistema de vigilancia. Así, mientras que GAMS nos proporciona el número necesario de cámaras, System Surveyor garantizará que estas estén ubicadas de la manera más efectiva posible dentro del Centro de Distribución.

A continuación, se presentará la simulación para cada una de las áreas, abordando los puntos ciegos y la sobrecobertura, y se realizará una comparación detallada entre la situación antes y después de la simulación:

- **Área A:** Cuenta actualmente con 9 cámaras. Sin embargo, durante la revisión del diseño propuesto, se detectó sobrecobertura en el exterior, donde hay 2 cámaras IP y una cámara PTZ. Para resolver este problema, se reubicó una cámara desde el área de entrada de vehículos, como se muestra en la Propuesta 1, lo que redujo el total a 7 cámaras. Por otro lado, la Propuesta 2 sugiere eliminar la cámara PTZ y reemplazarla por cámaras IP. Esta opción es preferible, ya que las cámaras IP ofrecen mejor resolución y mayor fiabilidad en comparación con las PTZ, lo que mejora la eficiencia y efectividad del sistema de vigilancia.

Figura 14

Simulación de cobertura del área A



- **Área B:** No se produjo la reducción de cámaras, ya que solo se dispone de una. En cuanto al cambio de ubicación, no fue necesario, ya que la cámara actual cumple la función requerida de captar el ingreso al cuarto de Bombas.

Figura 15

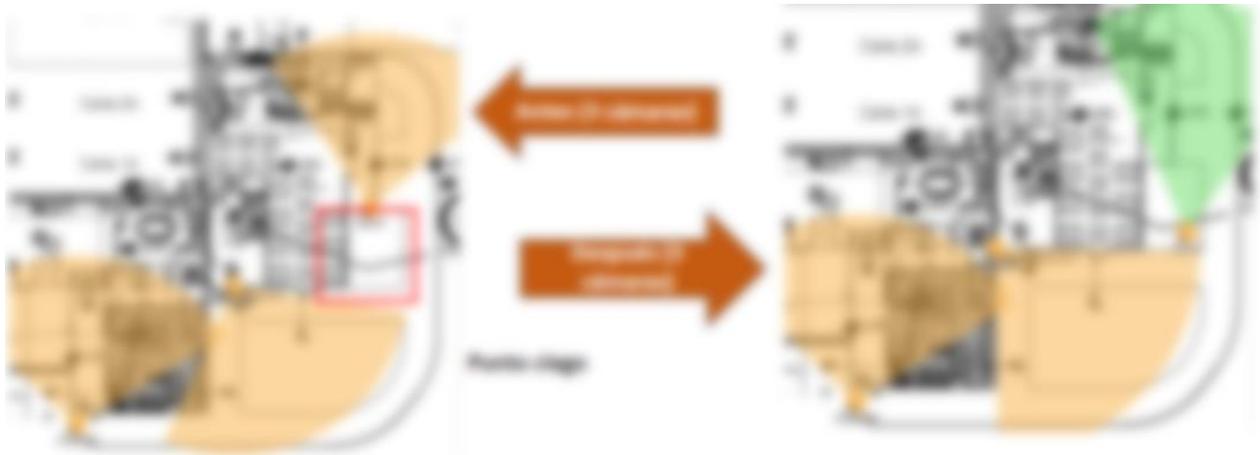
Simulación de cobertura del área B



- **Área C:** No se llevó a cabo una reducción en el número de cámaras, pero se identificó un punto ciego en el área. Al reubicar la cámara en la zona destacada en verde, logramos cubrir el área específica que presentaba el problema, satisfaciendo así las necesidades del cliente. Esta reubicación asegura que no haya zonas sin vigilancia y optimiza la cobertura del sistema de seguridad.

Figura 16

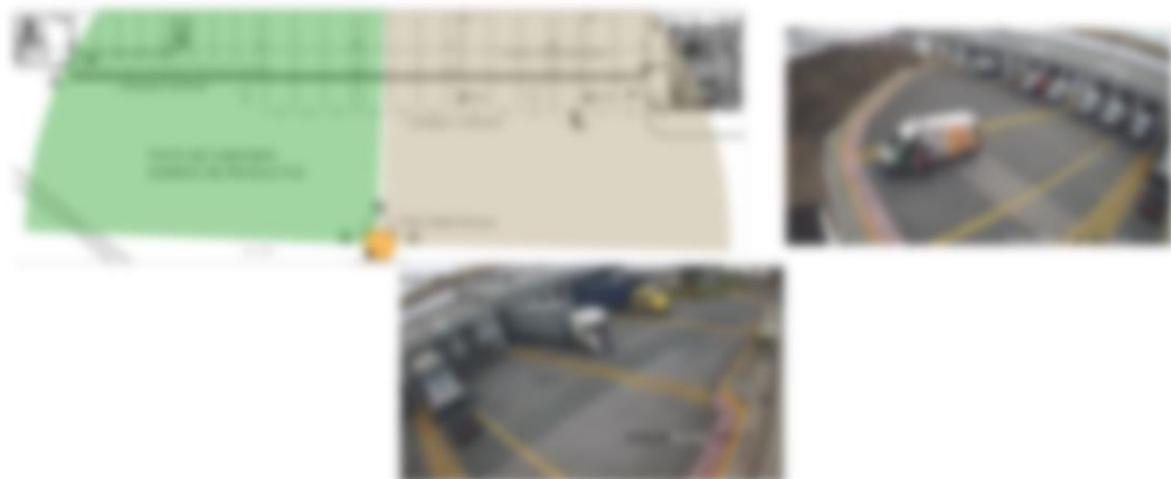
Simulación de cobertura del área C



- **Área D:** Se mantuvo el mismo número de cámaras y su ubicación original, ya que cumplen con las especificaciones del cliente para la cobertura de las áreas exteriores destinadas a la carga y descarga de productos. Estas cámaras aseguran una vigilancia continua y efectiva en estos puntos críticos, garantizando que las operaciones se realicen bajo estrictas condiciones de seguridad y cumpliendo plenamente con los requisitos establecidos por el cliente. La disposición actual ha demostrado ser adecuada para proteger las zonas de alta actividad sin necesidad de ajustes adicionales.

Figura 17

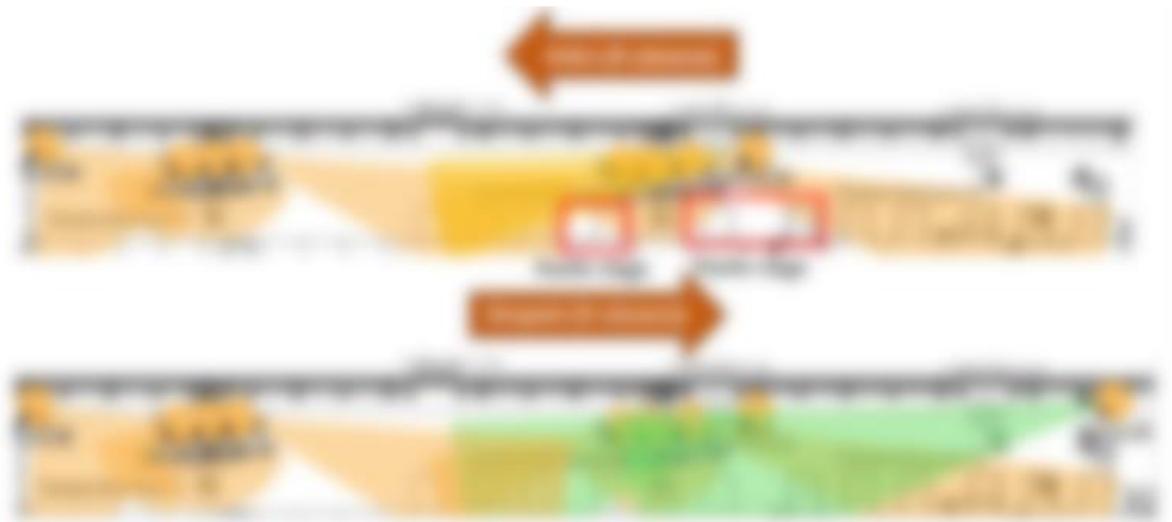
Simulación de cobertura del área D



- **Área E:** Tras una investigación detallada, se identificaron dos puntos ciegos en los muelles de carga. Para solucionar uno de ellos, se reubicó una cámara en la zona indicada en color verde, lo que permitió cubrir el área problemática. Sin embargo, el otro punto ciego no pudo resolverse únicamente con la reubicación de las cámaras existentes. Por tanto, el modelo recomendó instalar una nueva cámara, también en color verde, para asegurar una cobertura completa en esa zona. Esta solución garantiza que todos los puntos críticos del Área E estén bajo vigilancia, mejorando así la seguridad en los muelles de carga y cumpliendo con los estándares de seguridad requeridos.

Figura 18

Simulación de cobertura del área E



- **Área F:** El modelo recomienda mantener la distribución actual, ya que las dos cámaras PTZ, que rotan constantemente, cubren eficazmente toda el área de estacionamiento, así como las entradas y salidas de camiones. Además, se ha instalado una cámara IP para supervisar el tránsito de los usuarios a través de los corredores. Esta configuración garantiza una cobertura integral de las áreas clave, asegurando que tanto el movimiento de vehículos como el flujo de personas estén bajo vigilancia constante.

Figura 19

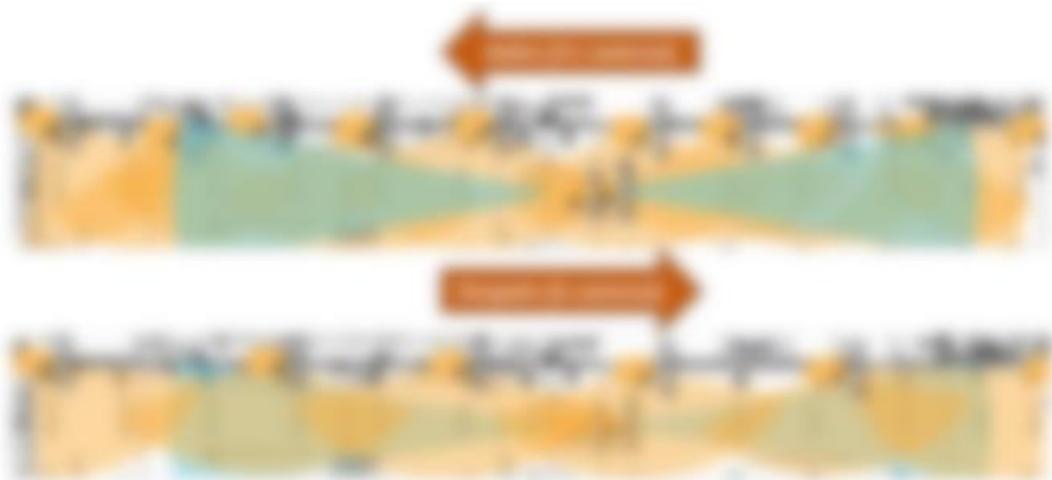
Simulación de cobertura del área F



- **Área G:** Anteriormente, existía una redundancia en la cobertura de las cámaras, ya que varias de ellas cubrían las mismas áreas desde diferentes ángulos sin aportar un valor adicional significativo. El modelo recomendó reducir el número de cámaras a 6 para eliminar esta redundancia. Es importante destacar que se decidió mantener una cámara tipo fisheye, la cual ofrece una vista panorámica del corredor, lo que garantiza una cobertura amplia y eficiente de esa zona específica. Esta decisión permite optimizar los recursos manteniendo la calidad de la vigilancia.

Figura 20

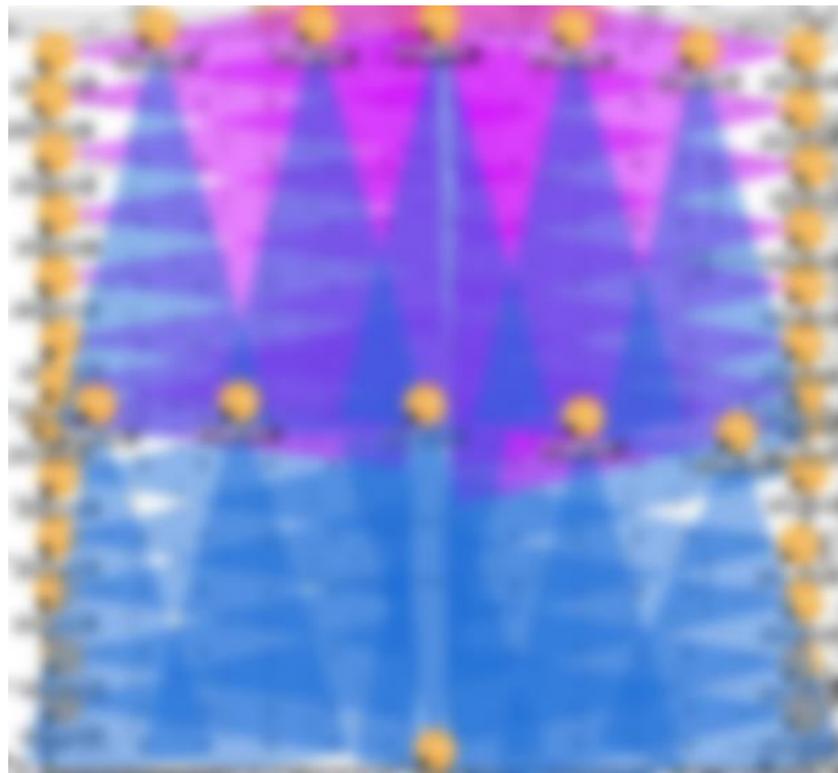
Simulación de cobertura del área G



- **Área H-I:** En las áreas H e I, se decidió mantener el número actual de cámaras y sus ubicaciones, a pesar de que el modelo recomendaba eliminar una de ellas. Tras evaluar la situación en el simulador, se optó por conservarla. Aunque esto genera una sobre cobertura en esa zona, la eliminación de una cámara de un total de 37 no tendría un impacto significativo en la eficiencia general del sistema. Por lo tanto, se consideró más prudente mantener la configuración existente para asegurar una cobertura completa sin comprometer la vigilancia en estas áreas clave.

Figura 21

Simulación de cobertura de las áreas H-I



- **Área K-J:** Cada una de las áreas K (Generador) y J (Montacargas) está equipada con una cámara que proporciona cobertura completa. Por lo tanto, se mantendrá una cámara en cada área, ya que esta configuración garantiza una vigilancia efectiva.

Figura 22

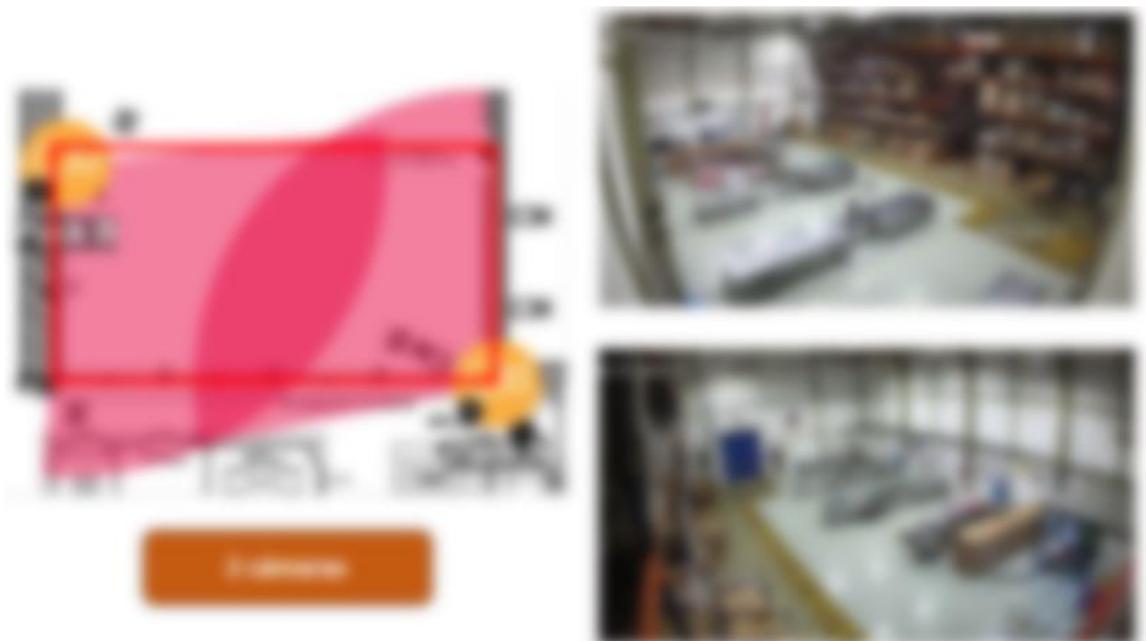
Simulación de cobertura de las áreas K-J



- **Área L:** No se realizó una reducción en el número de cámaras, ya que solo hay dos en esta área. Además, no fue necesario cambiar su ubicación, ya que la cámara actual cumple adecuadamente con la función de monitorear la zona de empaque. Esta disposición asegura que el área esté bien cubierta sin necesidad de ajustes adicionales.

Figura 23

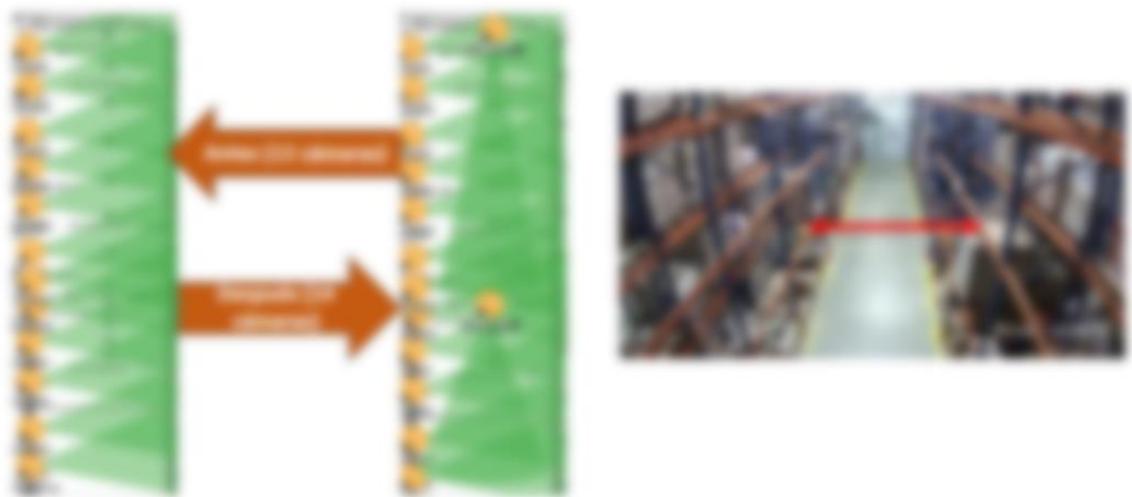
Simulación de cobertura del área L



- **Área N:** Aunque cada corredor está cubierto, se requiere cobertura adicional a lo largo de los pasillos. Para lograr esto, se proponen dos cámaras adicionales, según lo recomendado en el modelo GAMS y confirmado en la simulación. Esta ampliación de la vigilancia garantizará una cobertura más completa y efectiva, eliminando posibles puntos ciegos y mejorando la seguridad en los corredores.

Figura 24

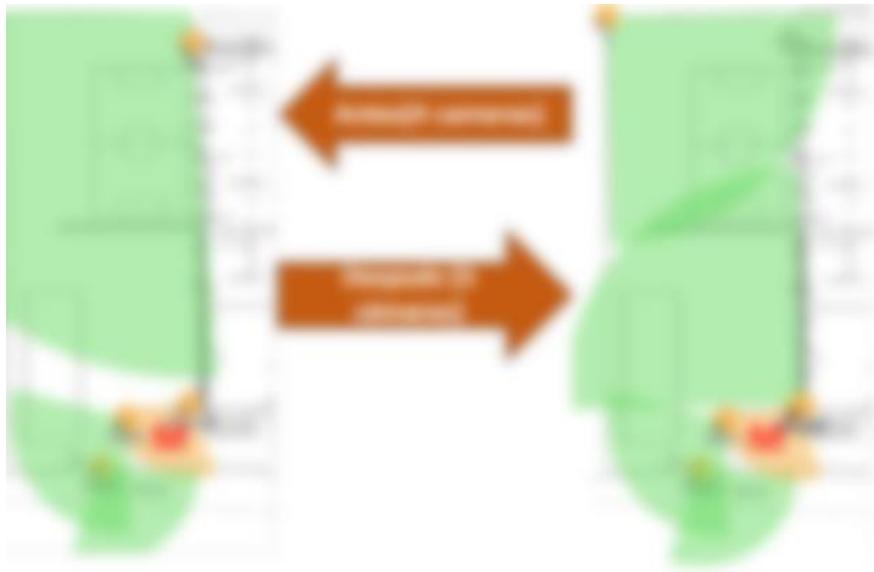
Simulación de cobertura del área L



- **Área M-O:** En la situación actual, el Área M cuenta con una cámara, mientras que el Área O (patio trasero) tiene tres cámaras: una PTZ y dos IP. Sin embargo, el modelo GAMS sugiere reducir la cantidad de cámaras en el Área O a solo dos, lo que no garantiza una cobertura completa. Como solución propuesta, se recomienda reemplazar la cámara PTZ en el Área O por un total de cuatro cámaras IP, lo que asegurará una cobertura integral en esa zona. Por otro lado, se mantendrá la cámara existente en el Área M, asegurando la vigilancia adecuada sin necesidad de cambios adicionales.

Figura 25

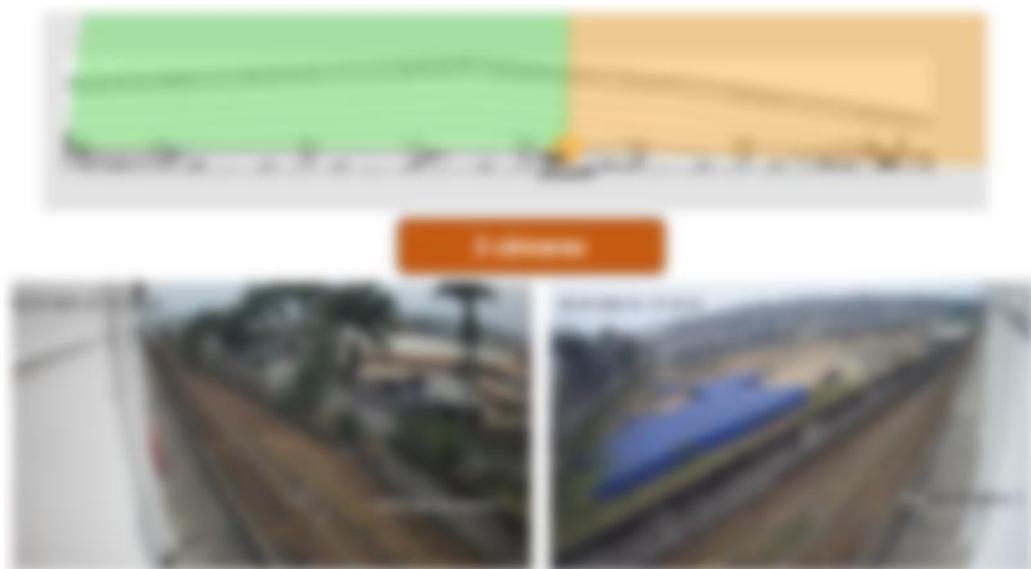
Simulación de cobertura de las áreas M-O



- **Área P:** No se ha reducido el número de cámaras, ya que se mantienen las dos cámaras existentes. No se proponen cambios en la ubicación de las cámaras, ya que actualmente se garantiza una cobertura completa del área.

Figura 26

Simulación de cobertura del área P



- **Área Q:** En el área Q, se ha identificado la presencia de dos cámaras, de las que una no está operativa, lo que se ha marcado claramente. No obstante, conforme a la propuesta del modelo, se ha decidido añadir una cámara adicional y reemplazar la cámara defectuosa, tal como se recomienda en los resultados del análisis del modelo. Esta acción garantizará una cobertura completa y funcional en toda el área.

Figura 27

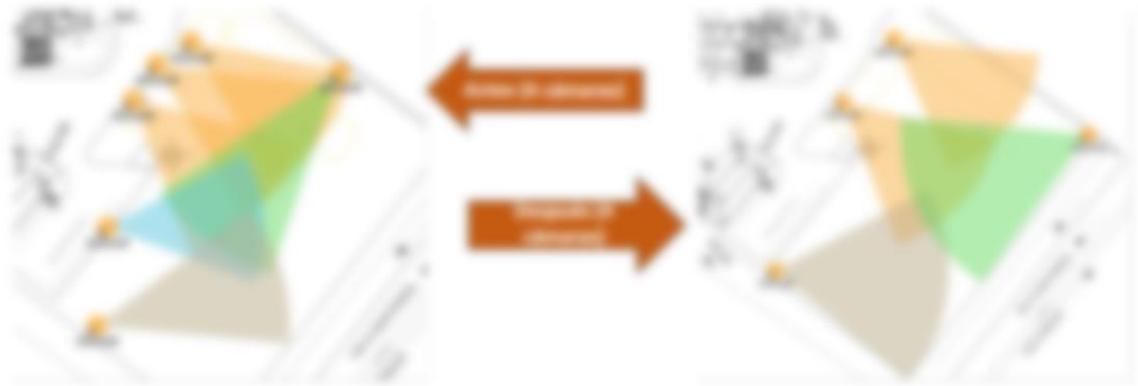
Simulación de cobertura del área Q



- **Área R:** Se ha identificado que hay 3 cámaras enfocadas hacia el mismo espacio, lo que no aporta un valor significativo, ya que las imágenes se repiten simultáneamente desde diferentes ángulos. Para evitar la sobrecobertura, estas cámaras fueron retiradas y reubicadas en áreas donde su presencia resulta más necesaria.

Figura 28

Simulación de cobertura del área R



Se propone una optimización cuantitativa, con una reducción del 5.61% en el número total de unidades de vigilancia, pasando de 107 a 101 cámaras. Esta disminución, aunque modesta, sugiere una reevaluación cuidadosa de la disposición y necesidad de los dispositivos en cada área. Significativamente, a pesar de esta reducción numérica, se mantiene una cobertura del 100% en todas las áreas supervisadas, lo que indica una redistribución estratégica de los recursos de vigilancia, priorizando la eficiencia sin comprometer la seguridad.

La propuesta incluye una reconfiguración tecnológica notable, con una reducción del 50% en cámaras PTZ (de 4 a 2 unidades) y una disminución del 3.92% en cámaras IP (de 102 a 98 unidades), mientras se mantiene una cámara de ojo de pez. Esta reconfiguración sugiere una adaptación a las necesidades específicas de cada área y una posible mejora en la calidad o capacidades de los dispositivos propuestos.

Un aspecto crítico revelado por el análisis es la necesidad de renovación, identificando que el 46% de las cámaras requieren reemplazo debido al fin de su vida útil. Este dato subraya la importancia de la actualización tecnológica y el mantenimiento proactivo para garantizar la eficacia continua del sistema de vigilancia.

La redistribución por áreas, ilustrada en el gráfico de barras, muestra variaciones significativas en la asignación de cámaras entre las diferentes zonas (A-R) en la situación propuesta versus la actual. Esto refleja un análisis minucioso de las necesidades de seguridad específicas de cada zona y una adaptación consecuente de los recursos.

3.2. Costos estimados

En la presente sección se detalla el análisis y los costos asociados con el proceso de reemplazo y actualización del sistema de cámaras de vigilancia. El sistema actual cuenta con un total de 107 cámaras, de las cuales se ha decidido reemplazar 50 cámaras por modelos nuevos con el objetivo de mejorar la calidad de la vigilancia y la eficacia del sistema de seguridad.

El porcentaje de cámaras a reemplazar representa un 46% del total del sistema actual. Para llevar a cabo este reemplazo, se ha seleccionado el modelo Hikvision 4K 8MP Bullet IP Cámara. El costo unitario de cada una de estas cámaras es de \$200, resultando en un costo total de \$10,000 para la adquisición de las 50 cámaras nuevas.

Además del costo de las cámaras, se deben considerar otros gastos asociados al proceso de actualización. El costo de reasignación de cada cámara es de \$100, aplicable a 10 cámaras que serán reasignadas, con un costo total de \$1,000. También se incluye un costo de \$2,000 para la instalación, configuración y prueba del nuevo sistema.

En consecuencia, el costo total estimado para completar el reemplazo y actualización del sistema de cámaras de vigilancia es de \$13,000. La tabla 18 proporciona un desglose detallado de estos costos, ofreciendo una visión clara y estructurada del presupuesto necesario para llevar a cabo esta mejora en el sistema de vigilancia.

Tabla 18*Costos totales estimados*

DESCRIPTION	Cantidad	Costo unitario	Costo Total
Número actual de cámaras	107	–	–
Número de cámaras a reemplazar por cámaras nuevas (GAMS)	50	–	–
Porcentaje de reemplazo	46%	–	–
Hikvision 4K 8MP Bullet IP Cámara	–	\$200	\$10,000
Costo total de reemplazo	–	–	\$10,000
Costo de reasignación por cámara	10	\$100	\$1,000
Costo total de reasignación			\$1,000
Costo total de instalación, configuración y prueba de sistema			\$2,000
COSTO TOTAL ESTIMADO	–	–	\$13,000

3.3.Indicadores de sostenibilidad

Al reducir el número de cámaras, se lograron los siguientes resultados en los indicadores de sostenibilidad:

- **Pilar Social:**

Se alcanzó una cobertura del 100% en el centro de distribución. Esta métrica evalúa el porcentaje de área cubierta por cámaras en relación con el total disponible. Garantizar una cobertura total asegura que toda el área esté monitoreada y documentada, mejorando significativamente la seguridad y la supervisión. A continuación, se presenta en la Tabla 19 un análisis detallado de la situación actual en comparación con la propuesta.

Tabla 19*Resultados del indicador social*

Aspectos	Estado Actual	Modelo propuesto	Beneficios de la mejora
Cobertura Total	Cobertura parcial con puntos ciegos	Cobertura total en todas las áreas	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor seguridad • Documentación continua • Reducción de incidentes
Salud ocupacional	Detección limitada de riesgos	Monitoreo constante para detectar riesgos	<ul style="list-style-type: none"> • Prevención de accidentes • Mejora del ambiente de laboral • Cumplimiento normativo (verificación efectiva)
Ergonomía	Análisis limitado de posturas y movimientos	Observación y ajuste de posturas	<ul style="list-style-type: none"> • Prevención de lesiones • Capacitación en prácticas ergonómicas.
Impacto General	Riesgo de interrupciones y problemas de satisfacción	Ambiente seguro y saludable con riesgos reducidos	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor productividad • Mayor satisfacción laboral (mejor moral y menor rotación)

- **Pilar económico:**

Se ha logrado una reducción en el número de cámaras de seguridad, disminuyendo de 107 a 101 cámaras. Esta reducción ha generado un ahorro significativo en los costos de adquisición y instalación del equipo.

Para calcular el ahorro en adquisición (AA), utilizamos la siguiente fórmula de la ecuación 2.7 mostrada anteriormente.

$$\text{Ahorro de Adquisición}(AA) = (A - P)X(CUC) \quad (2.7)$$

$$AA = (107 - 101) \times \$200$$

$$AA = (6) \times \$200$$

$$AA = \$1200$$

Este ahorro de \$1200 no solo refleja una optimización en el presupuesto, sino que también reduce los costos operativos asociados con la instalación y el mantenimiento del sistema. La reducción en el número de cámaras permite una gestión más eficiente de los recursos y contribuye a una asignación más efectiva de los fondos disponibles.

- **Pilar ambiental:**

Se ha logrado una reducción del 8,56% en el consumo de energía anual de las cámaras de seguridad, gracias a la implementación de medidas preventivas y de optimización energética. Este ahorro no solo contribuye a la eficiencia en el uso de la energía, sino que también apoya los objetivos de sostenibilidad del centro de distribución.

En base a la ecuación 2.6 se obtuvieron los siguientes resultados:

1. **Consumo Anual Antes de la Implementación:** 10,157.6kWh

Cámaras IP:

Consumo diario (Wh)=Potencia* Horas por día

Consumo diario (Wh)=10W* 24h= 240 Wh

Consumo anual (Wh) =240Wh*365= 87,600 Wh

Consumo anual (kWh)= $\frac{87,600 \text{ Wh}}{1000} = 87.6 \text{ kWh}$

Consumo anual total (kWh)=87.6 kWh * 102 cámaras = **8,931.2 kWh**

Cámaras PTZ:

Consumo diario (Wh)=Potencia* Horas por día

Consumo diario (Wh)=30W* 24h= 720 Wh

Consumo anual (Wh) =720Wh*365= 262,800 Wh

Consumo anual (kWh)= $\frac{262,800 \text{ Wh}}{1000} = 262.8 \text{ kWh}$

Consumo anual total (kWh)=262.8 kWh * 4 cámaras = **1,051.2 kWh**

Cámara Ojo de Pez:

Consumo diario (Wh)=Potencia* Horas por día

Consumo diario (Wh)=20W* 24h= 480 Wh

Consumo anual (Wh) =480Wh*365= 175,200 Wh

Consumo anual total (kWh)= $\frac{175,200 \text{ Wh}}{1000} = \mathbf{175.2 \text{ kWh}}$

Consumo anual total= 8,931.2 kWh + 1,051.2 kWh + 175.2 kWh=10,157.6kWh

2. **Consumo Anual Después de la Implementación: 9,289.6 kWh**

Cámaras IP:

Consumo anual (kWh)= $\frac{87,600 \text{ Wh}}{1000} = 87.6 \text{ kWh}$

Consumo anual total (kWh)=87.6 kWh * 98cámaras = **8,588.8 kWh**

Cámaras PTZ:

Consumo anual (kWh)= $\frac{262,800 \text{ Wh}}{1000} = 262.8 \text{ kWh}$

Consumo anual total (kWh)=262.8 kWh * 2 cámaras = **525.6 kWh**

Cámara Ojo de Pez:

Consumo anual total (kWh)= $\frac{175,200 \text{ Wh}}{1000} = \mathbf{175.2 \text{ kWh}}$

Consumo anual total= 8,588.8kWh + 525.6 kWh + 175.2 kWh=9,289.6 kWh

Además, se destacan tres puntos claves:

1. Mejora de la eficiencia energética:

- Mayor rendimiento del sistema de vigilancia: Esto implica una mejor calidad de las imágenes, mayor alcance o características adicionales que optimizan la seguridad y el monitoreo.
- Reducción del consumo energético: A pesar de las mejoras en el rendimiento, se logra disminuir el consumo eléctrico del sistema, lo que representa un ahorro económico y ambiental.

2. Sostenibilidad:

- Disminución de la huella de carbono: Al reducir el consumo energético, se disminuye la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a la generación de electricidad, contribuyendo a mitigar el cambio climático.

3. Costos operativos:

- Aumento inicial del consumo: La implementación de nuevas cámaras puede generar un incremento en el consumo energético a corto plazo.
- Justificación de los costos adicionales: Los beneficios en seguridad y monitoreo que se obtienen con el nuevo sistema compensan el aumento en los costos de energía.

3.4. Validación de especificaciones de diseño

3.4.1. Cobertura Operativa del 100% de las Cámaras

El análisis inicial identificó dos cámaras fuera de servicio más de seis meses en dos áreas clave: Área I y Área Q. Pero, con el modelo de evaluación y reemplazo de cámaras implementado, se logró cumplir con el objetivo de restaurar y mantener una cobertura operativa del 100%. Esto se alcanzó mediante la sustitución de las cámaras afectadas y la optimización del sistema para evitar interrupciones en la vigilancia.

El modelo de evaluación propuesto permitió identificar con precisión las cámaras que habían alcanzado el final de su vida útil y garantizó su reemplazo de manera oportuna. Este proceso es crucial para asegurar que todas las áreas permanecieran bajo monitoreo constante, sin fallos ni zonas ciegas. Hubo que reemplazar el 46 % de las cámaras actuales, 50 de 107. Este reemplazo masivo aseguró que la totalidad del sistema de vigilancia alcanzara nuevamente el 100% de operatividad, eliminando cualquier brecha en la cobertura.

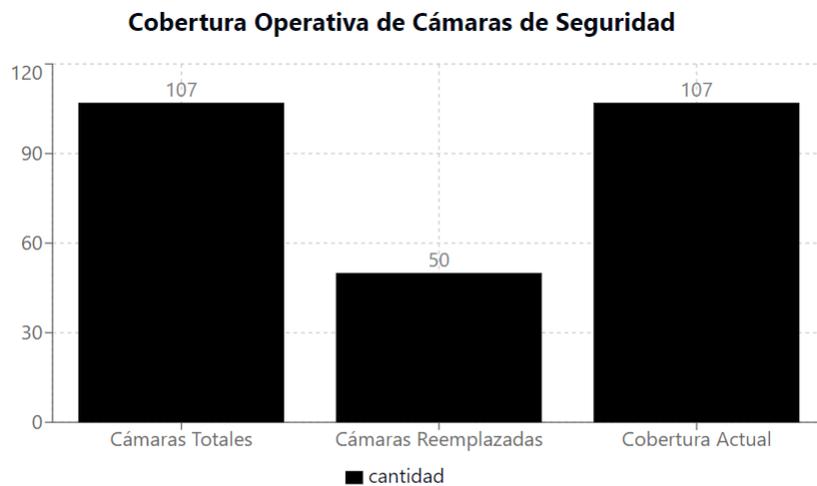
La implementación de este modelo de evaluación y reemplazo de cámaras ha permitido cumplir con el 100% de la cobertura total del sistema de cámaras de seguridad. Esto se justifica por los siguientes motivos:

1. Seguridad Continua y Sin Interrupciones: La restauración de todas las cámaras fuera de servicio ha garantizado que todas las áreas críticas permanezcan bajo vigilancia constante, permitiendo una detección rápida y efectiva de cualquier incidente.
2. Cobertura Integral y Sin Zonas Ciegas: El modelo asegura que no existan puntos ciegos en el sistema, cumpliendo con las especificaciones de diseño que requieren una cobertura completa en todas las áreas monitoreadas.

3. Optimización y Mantenimiento Eficiente: El enfoque en el reemplazo oportuno de cámaras ha permitido no solo mantener, sino también optimizar la eficiencia del sistema de seguridad, garantizando así un monitoreo ininterrumpido y confiable.

Figura 29

Cobertura Operativa de las Cámaras de Seguridad



Nota: La cobertura actual representa el 100% de operatividad del sistema.

3.4.2. Cobertura de puntos ciegos

Durante el proceso de recopilación de información, en estrecha colaboración con el cliente y considerando sus necesidades específicas, se identificaron cinco puntos ciegos en las áreas C, E y G del centro de distribución. La documentación fotográfica y el análisis de las imágenes capturadas por las cámaras existentes revelaron que algunas secciones no están completamente cubiertas, lo que podría comprometer la efectividad del sistema de vigilancia. Es necesario revisar y ajustar la ubicación o el tipo de cámaras para mejorar la cobertura y garantizar una vigilancia integral en todo el centro.

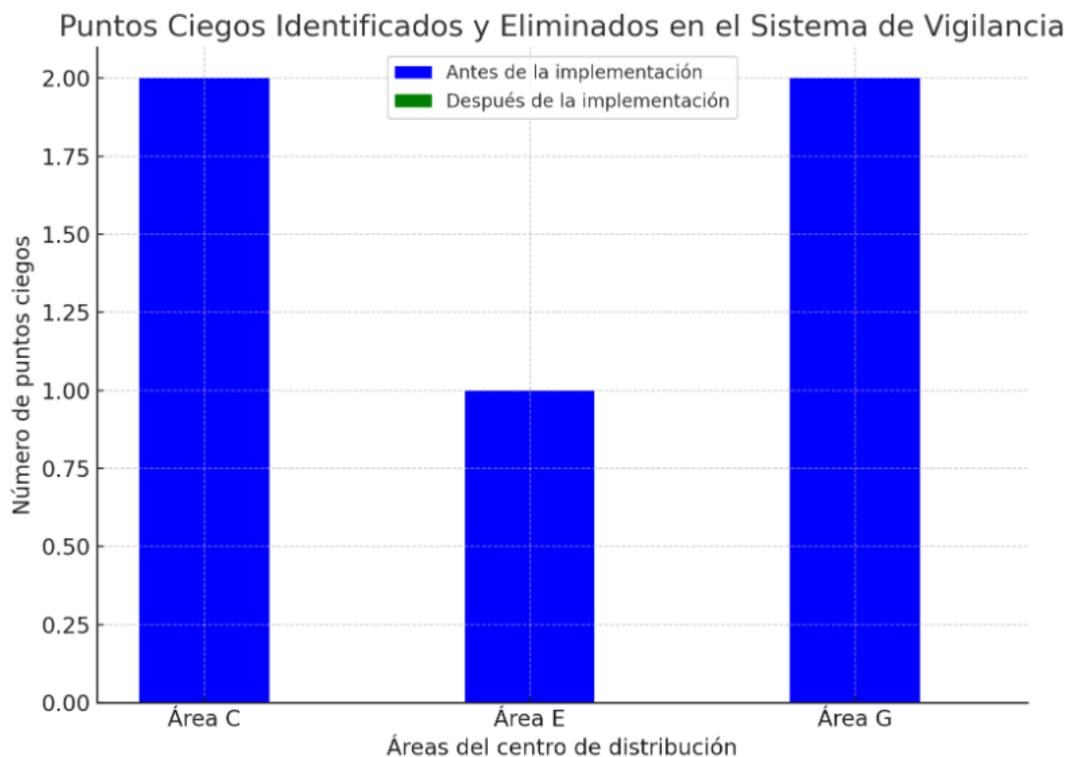
Con la ayuda del software System Surveyor, se realizó una simulación detallada de la cobertura para cada área del centro de distribución, teniendo en cuenta los objetos y estructuras

circundantes. Esta simulación permitió mapear con precisión las áreas de cobertura e identificar los puntos ciegos existentes.

Como resultado de este análisis, se localizaron con exactitud los puntos ciegos en las áreas C, E y G, y se implementaron soluciones para cubrir completamente estas zonas. La simulación no solo permitió realizar ajustes en la ubicación y el tipo de cámaras, sino que también optimizó la configuración del sistema para garantizar una vigilancia continua y efectiva en todo el centro de distribución. En consecuencia, los puntos ciegos previamente identificados fueron eliminados por completo, lo que mejoró significativamente la efectividad general del sistema de vigilancia.

Figura 30

Puntos ciegos identificados y eliminados



3.4.3. Resolución de al menos 1080p para todas las cámaras

Según las especificaciones técnicas detalladas de los seis tipos de cámaras instaladas en el centro de distribución, se confirmó que cada modelo posee una resolución superior a 1080p. Este nivel de resolución no solo supera el umbral mínimo recomendado por expertos en seguridad y vigilancia, sino que también se alinea con las mejores prácticas de la industria para garantizar una claridad y detalle óptimos en el video. La implementación de cámaras con una resolución tan avanzada es un factor crucial para mejorar la capacidad del sistema de monitorear y detectar eventos con precisión, lo que mejora significativamente la seguridad y la eficiencia operativa del centro de distribución.

CAPÍTULO 4

4. Conclusiones y Recomendaciones

4.1. Conclusiones

El proyecto tuvo como objetivo general reorganizar el sistema de videovigilancia en el centro de distribución de una empresa de alimentos para cubrir áreas de riesgo y monitorear procesos desde la entrada hasta la salida del producto terminado durante el periodo de mayo a septiembre de 2024. Para ello, los objetivos específicos fueron: recopilar información sobre los equipos usados actualmente y los planos del centro de distribución; validar la compatibilidad de los equipos del mercado con el software existente; determinar las especificaciones de diseño en función de las necesidades del cliente; validar diferentes alternativas de diseño que optimicen el sistema de videovigilancia, y evaluar los resultados de la alternativa de diseño elegidas, para asegurar la mejora en la cobertura de áreas de riesgo y el monitoreo eficiente de los procesos desde la entrada hasta la salida del producto terminado.

El objetivo específico 1 se cumplió completamente. Se recopiló una visión detallada de la distribución de cámaras en el Centro de Distribución, identificándose 107 cámaras, entre las cuales se incluyen cámaras IP, PTZ y de ojo de pez. Asimismo, se verificaron 18 áreas, de las cuales 5 presentaban puntos ciegos no cubiertos adecuadamente. También se logró actualizar el inventario de cámaras, revelando que 103 cámaras están operativas y 4 fuera de servicio. Esta información permitió detectar deficiencias clave en la cobertura y facilitó decisiones futuras de optimización del sistema.

El objetivo específico 2 se cumplió parcialmente. Se identificaron 4 cámaras IP fuera de servicio debido a su antigüedad, recomendándose su reemplazo. Sin embargo, la validación completa de la compatibilidad de los nuevos equipos con el software existente quedó pendiente. A pesar de ello, la identificación de los equipos inoperativos contribuyó a optimizar el sistema, reduciendo costos sin comprometer la seguridad. Además, la grabación de todas las áreas del

centro permitirá documentar procedimientos críticos que servirán para un análisis continuo enfocado en la mejora de la seguridad y salud ocupacional de los trabajadores.

El objetivo específico 3 se cumplió completamente. Se propuso el reemplazo del 46% de las cámaras actuales y la instalación de 10 cámaras nuevas para optimizar la cobertura, con un costo estimado de \$13,000. Además, la implementación del modelo permitió reducir en un 10% el número de cámaras inicialmente planificadas, manteniendo la cobertura del 100% en todas las áreas clave. La optimización también generó una disminución significativa en el consumo energético anual, de 10,157.6 kWh a 9,289.6 kWh, lo que produjo beneficios tanto económicos como ambientales.

La ejecución del objetivo específico 4 excedió las expectativas. La aplicación del modelo de Programación Entera Mixta (MIP) y el uso del software System Surveyor optimizaron la distribución de cámaras, eliminando puntos de sobrecobertura y mejorando la eficiencia operativa. Además, se logró una reducción en el consumo energético y una mejora en las condiciones ergonómicas de los trabajadores. Al grabar todas las áreas del centro, se generó una valiosa fuente de documentación que permitirá mejorar los procedimientos, fomentando un análisis constante en busca de mejoras continuas en la seguridad y salud de los empleados.

El objetivo específico 5 se cumplió completamente. La reducción de 6 cámaras en el sistema permitió un ahorro financiero de \$1,200 en un año, sin comprometer la cobertura en las áreas críticas. Asimismo, la grabación continua de procesos facilitará una mejor documentación y análisis posterior, lo que impulsará mejoras en la operación y seguridad del centro. Además, la optimización del sistema resultó en una significativa reducción del consumo energético, lo que contribuyó a mejorar la eficiencia operativa y la sostenibilidad del proyecto.

4.2.Recomendaciones

Llevar un registro detallado de los incidentes en cada área le permitirá priorizar las áreas de mayor relevancia y riesgo, identificar patrones, asignar recursos estratégicos y planificar mejoras específicas. Este enfoque ayudará a optimizar el mantenimiento, justificar inversiones adicionales y mejorar la respuesta a emergencias en áreas críticas.

Implementar un sistema de alarma automático que se active cuando las cámaras detecten riesgos o accidentes durante las actividades permitirá una respuesta inmediata ante situaciones críticas. Esto mejorará la capacidad de reacción, minimizará los tiempos de respuesta y garantizará una intervención rápida para mitigar posibles problemas.

Realizar evaluaciones periódicas del sistema de cámaras para identificar posibles redundancias y oportunidades de mejora de la cobertura. Al igual que la reducción inicial de 6 cámaras, estas evaluaciones pueden revelar áreas en las que el sistema se puede optimizar aún más sin comprometer la seguridad. Además, la integración de cámaras con funciones avanzadas, como análisis de video y detección de movimiento, puede ayudar a reducir la cantidad de cámaras necesarias manteniendo una alta efectividad en la vigilancia.

5. Referencias

Axis Site Designer. (s.f.). Obtenido de <https://sitedesigner.axis.com/>

Fleiss. (1986). *The design and analysis of clinical experiments*. Ney York: John Wiley & Sons.

Genetec. (s.f.). Obtenido de Security Center: <https://www.genetec.com/es/productos/seguridad-unificada/security-center>

Palacio, E. V. (Junio de 2023). Usó cálculo del coeficiente de correlación intraclase. *Universidad de Antioquia*, 12(2). Obtenido de <https://revistas.udea.edu.co/index.php/viref/article/view/355378/20812813>

Quinteros, S. (2024). *Diseño de estrategia metodológica que permita la aplicación de la matriz QFD (Quality function deployment), en el desarrollo de productos para la empresa Locería Colombiana S.A.S.* Obtenido de Universidad de Antioquia: <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/38127>

Rocha, J., Gutiérrez, H., & Silva, C. (2021). Modelo de programación entera mixta en la planeación de actividades y personal en un capítulo académico estudiantil. *Tecnura*. Obtenido de <https://doi.org/10.14483/22487638.15672>

Statistical Discovery. (s.f.). *Portal de formación estadística*. Obtenido de https://www.jmp.com/es_co/statistics-knowledge-portal/t-test.html

6. Apéndices

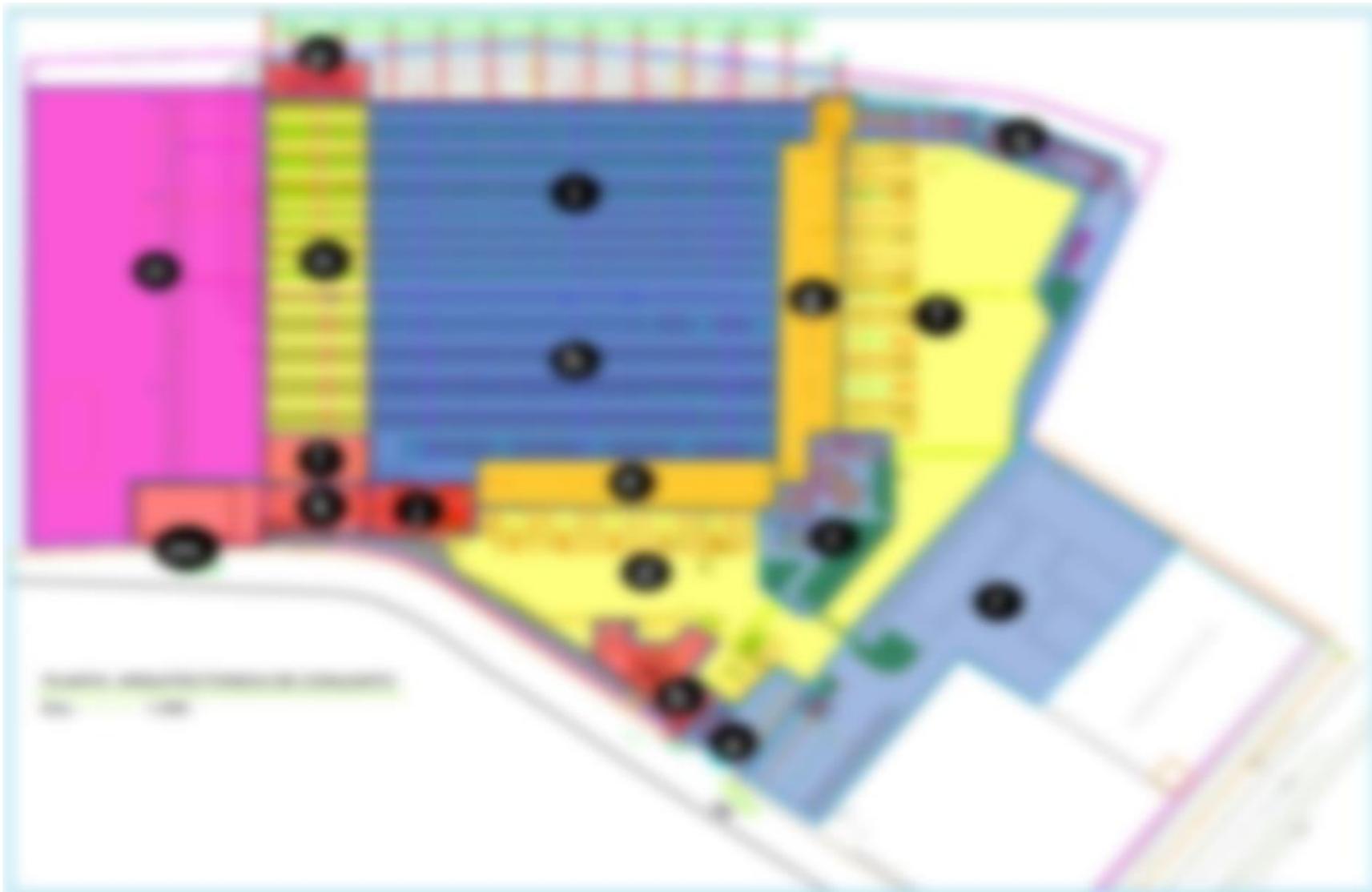
Apéndice A

Plano en AutoCAD del Centro de Distribución del año 2018



Apéndice B

Clasificación por colores de las 18 áreas del Centro de Distribución



Apéndice C

Número de cámaras operativas en el Centro de Distribución del año 2024

Current number of CCTV cameras (2024)			
ZONA	AMOUNT	GUY	OPERATIONAL
ZONA E			
NVR#4 PASILLO M-H	1	IP	SI
NVR#2_RECEP.ANDEN 19-21	1	IP	SI
NVR#2_RECEP.ANDEN 22-24	1	IP	SI
NVR#2_RECEP.ANDEN 25-26	1	IP	SI
NVR#4_ANDEN 26	1	IP	SI
Andenes 4k_Anden 30,31,32	1	IP	SI
NVR#1_CALLE 1A	1	IP	SI
NVR#1_CALLE 1B	1	IP	SI
TOTAL	8		
ZONA J			
NVR#2 AREA DE MONTACARGAS	1	IP	SI
TOTAL	1		
ZONA L			
NVR#2_COLDPACK A	1	IP	SI
NVR#2_COLDPACK B	1	IP	SI
TOTAL	2		
ZONA N			
NVR#2_AREA FRIA CALLE 3	1	IP	SI
NVR#2_AREA FRIA CALLE 4	1	IP	SI
NVR#2_AREA FRIA CALLE 5	1	IP	SI
NVR#2_AREA FRIA CALLE 6	1	IP	SI
NVR#2_AREA FRIA CALLE 7	1	IP	SI
NVR#2_AREA FRIA CALLE 8	1	IP	SI
NVR#2_AREA FRIA CALLE 9	1	IP	SI
NVR#2_AREA FRIA CALLE 10	1	IP	SI
NVR#2_AREA FRIA CALLE 11	1	IP	SI
NVR#2_AREA FRIA CALLE 12	1	IP	SI
NVR#2_AREA FRIA CALLE 13	1	IP	SI
NVR#2_AREA FRIA CALLE 14	1	IP	SI
TOTAL	12		
ZONA H			
NVR#1 CALLE 2A	1	IP	SI
NVR#1 CALLE 2B	1	IP	SI
NVR#1 CALLE 3A	1	IP	SI
NVR#1 CALLE 3B	1	IP	SI
NVR#1 CALLE 4A	1	IP	SI
NVR#1 CALLE 4B	1	IP	SI
NVR#1 CALLE 5A	1	IP	SI
NVR#1 CALLE 5B	1	IP	SI
NVR#1 CALLE 6A	1	IP	SI
NVR#1 CALLE 6B	1	IP	SI
NVR#4PASILLO DESPACHO 2	1	IP	SI
Tunel 1,2,3	3	IP	SI
TOTAL	14		

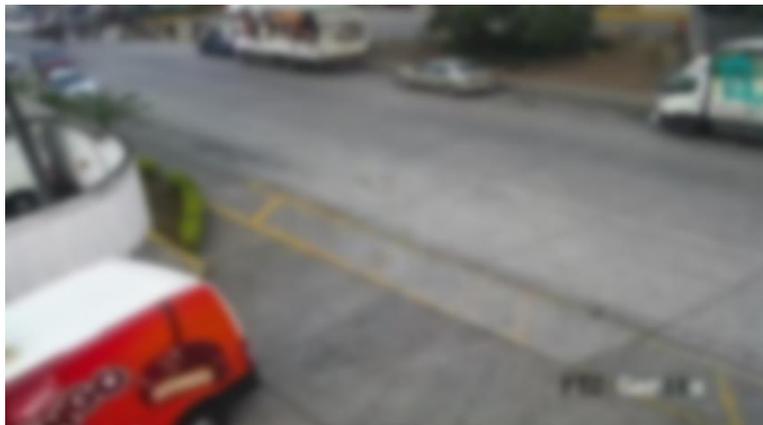
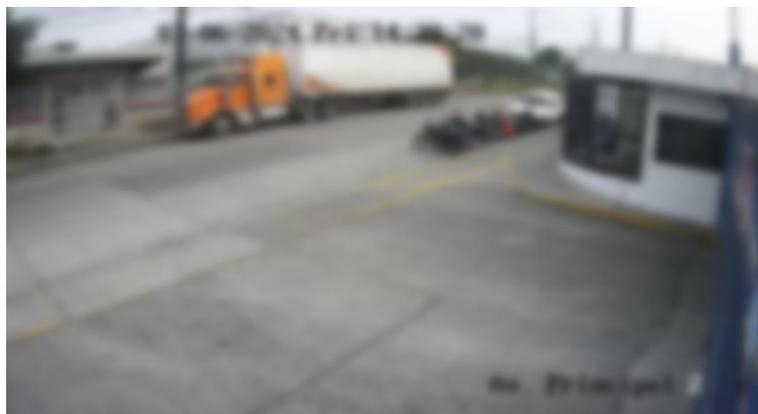
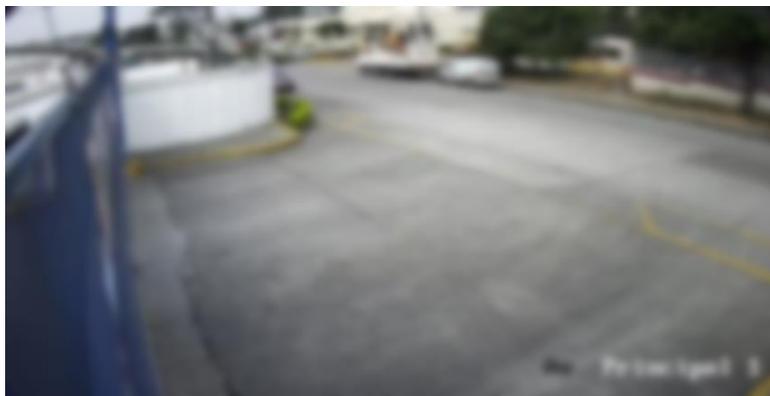
Current number of CCTV cameras (2024)			
ZONA	AMOUNT	GUY	OPERATIONAL
ZONA G			
NVR#4_ANDEN 1	1	IP	SI
Andenes 4k_Anden 1,2,3	1	IP	SI
Andenes 4k_Anden 4,5,6	1	IP	SI
Andenes 4k_Anden 7,8,9	1	IP	SI
Andenes 4k_Anden 9,10,11	1	IP	SI
Andenes 4k_Anden 12,13,14	1	IP	SI
Andenes 4k_Anden 16,17,18	1	IP	SI
NVR#4_ANDEN 9	1	IP	SI
NVR#4_ANDEN 10	1	IP	SI
NVR#2_FISH EYE DESPACHO	1	IP	SI
NVR#4_ANDEN 18	1	IP	SI
TOTAL	11		
ZONA C			
NVR#E_INGRESO RECEPCION	1	IP	SI
NVR#3_RECEPCION	1	IP	SI
NVR#3_EXTERIOR COMEDOR	1	IP	SI
TOTAL	3		
ZONA F			
NVR#3_PTZ COMEDOR	1	PTZ	SI
NVR#3_PTZ PETAR	1	PTZ	SI
NVR#3_CHACHEPSA	1	IP	SI
TOTAL	3		
ZONA Q			
NVR#3 DESNATURALIZACION INTERNA	1	IP	SI
NVR#3 AREA TRANSPORTISTA	1	IP	NO
NVR#4 BILLING	1	IP	SI
TOTAL	3		
ZONA Q			
NVR#3_AV.PRINCIPAL 1	1	IP	SI
NVR#3_AV.PRINCIPAL 2	1	IP	SI
NVR#3_GARITA GUARDIA	1	IP	SI
NVR#3_GARITA MONITOREO	1	IP	SI
NVR#3_INGRESO VEHICULAR	2	IP	SI
NVR#3_SALIDA PEATONAL	1	IP	SI
NVR#3_TORINQUETE SALIDA	1	IP	SI
NVR#3_PTZ GARITA	1	PTZ	SI
TOTAL	9		
ZONA R			
NVR#3_INVENTARIO DSD1	1	IP	SI
NVR#3_INVENTARIO DSD2	1	IP	SI
NVR#3_INVENTARIO DSD3	1	IP	SI
NVR#4_CAM PARQUEO PT	1	IP	SI
NVR#3_INGRESO A BODEGA POP	1	IP	SI
NVR#3_PARQUEO EXT DSD	1	IP	SI
TOTAL	6		

Current number of CCTV cameras (2024)			
ZONA	AMOUNT	GUY	OPERATIONAL
ZONA I			
NVR#1 CALLE 7A	1	IP	SI
NVR#1 CALLE 7B	1	IP	SI
NVR#1_CALLE 8A	1	IP	SI
NVR#1 CALLE 8 LADO A	1	IP	SI
NVR#1 CALLE 8 LADO B	1	IP	SI
NVR#1 CALLE 9 LADO A	1	IP	NO
NVR#1 CALLE 9 LADO B	1	IP	SI
NVR#1 CALLE 10 LADO A	1	IP	SI
NVR#1 CALLE 10 LADO B	1	IP	SI
NVR#1_CAMARA 10A	1	IP	SI
NVR#1_CALLE 10B	1	IP	SI
NVR#1_CALLE 11A	1	IP	SI
NVR#1_CALLE 11B	1	IP	SI
NVR#1_CALLE 12A	1	IP	SI
NVR#1_CALLE 12B	1	IP	SI
NVR#1_CALLE 13A	1	IP	SI
NVR#1_CALLE 13B	1	IP	SI
NVR#1_CALLE 14A	1	IP	SI
NVR#1_CALLE 14B	1	IP	SI
NVR#4PASILLO DESPACHO 1	1	IP	SI
Tunel 1,2,3	3	IP	SI
TOTAL	23		
ZONA B			
NVR#3_CISTERNA	1	IP	SI
TOTAL	1		
ZONA D			
NVR#2_PARQUEADERO CONTAINERS A	1	IP	SI
NVR#2_PARQUEADERO CONTAINERS B	1	IP	SI
TOTAL	2		
ZONA K			
NVR#3_GENERADOR	1	IP	SI
TOTAL	1		
ZONA M			
NVR#3_REUTILIZO DE PALLET	1	IP	SI
TOTAL	1		
ZONA P			
NVR#2_EXTERIOR PERIMETRO 1	1	IP	SI
NVR#2_EXTERIOR PERIMETRO 2	1	IP	SI
PERIMETRO	2	IP	NO
TOTAL	4		
ZONA O			
NVR#3_INGRESO POSTERIOR	1	IP	SI
NVR#4_PTZ PATIO POSTERIOR	1	PTZ	SI
NVR#3_CALLE INGRESO POSTERIOR	1	IP	SI
TOTAL	3		

Apéndice D

Descripción de las áreas con puntos ciegos y sobrecobertura

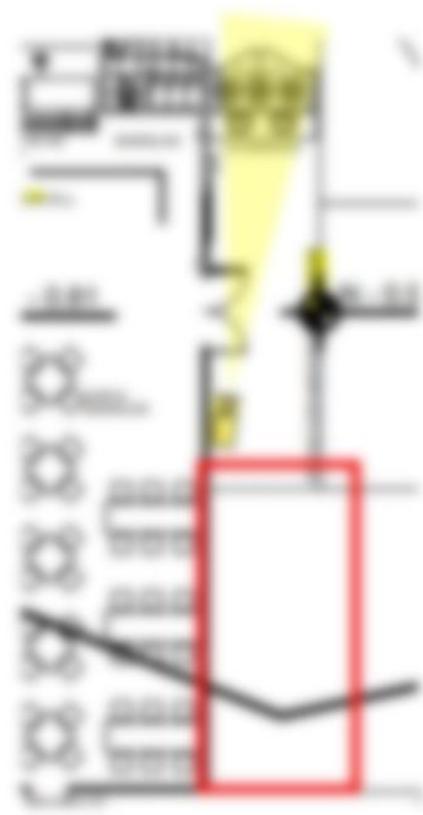
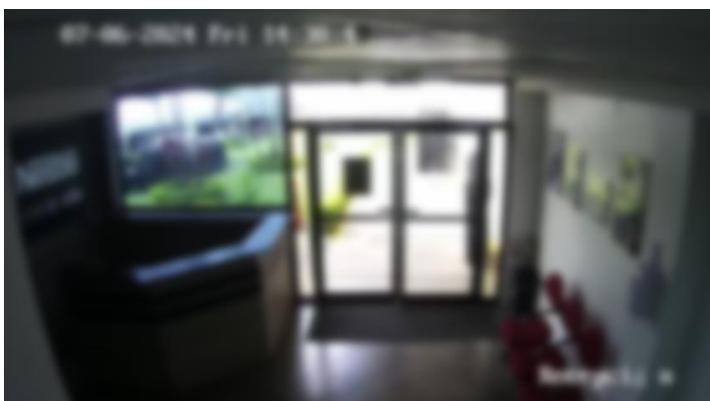
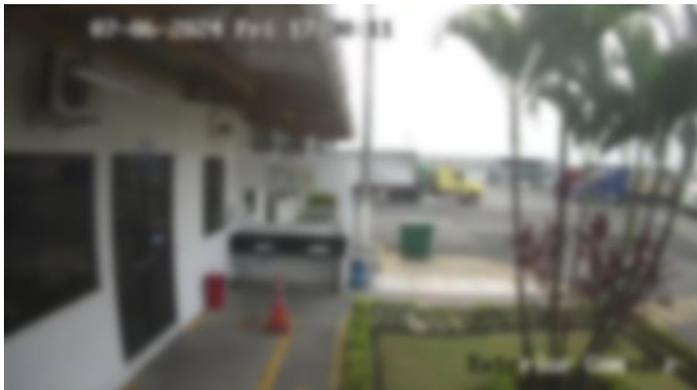
En la zona A, hay 3 cámaras, 2 IP y 1 PTZ que apuntan a la calle exterior que verifican el ingreso de personas y vehículos. Estas cámaras apuntan a los mismos lugares desde diferentes ángulos que no son significativos. Cabe mencionar que sólo el PTZ podría cubrir todo el perímetro.



Apéndice D

Descripción de las áreas con puntos ciegos y sobrecobertura

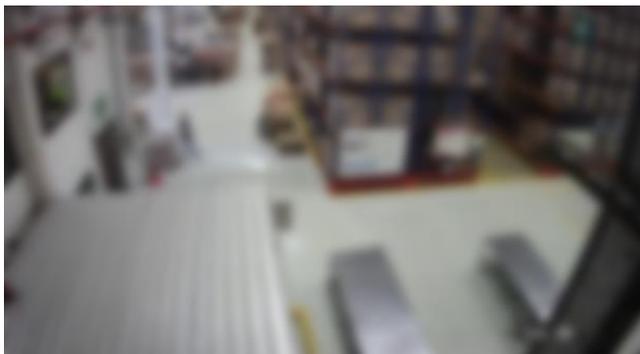
En la Zona C hay una cámara que apunta hacia el exterior del comedor. Sin embargo, detrás de esta cámara hay una zona que no está cubierta. Al revisar desde otro ángulo o con una cámara cercana, se puede observar que la cámara de recepción está ubicada en el interior, lo que impide visualizar el exterior del área marcada con el recuadro rojo. Que debido a la cobertura y alcance de la cámara es posible reubicarla, para cubrir la mayor cobertura posible de esa zona.



Apéndice D

Descripción de las áreas con puntos ciegos y sobrecobertura

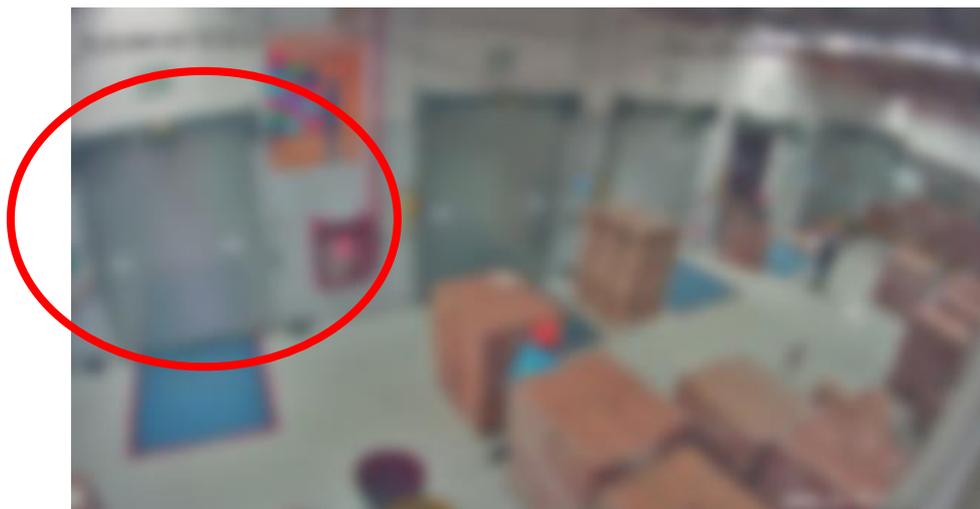
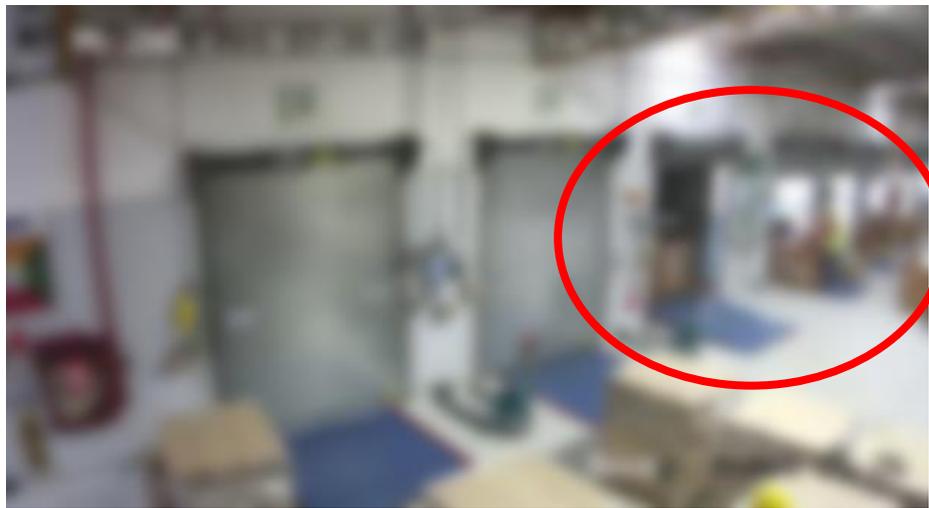
En la zona E "precargas de recepción", hay incomodidad dentro de los andenes ya que no se ve bien a través de los pilares, aunque hay 2 cámaras en los extremos de esa calle, como se muestra la imagen, no hay suficiente alcance.



Apéndice D

Descripción de las áreas con puntos ciegos y sobrecobertura

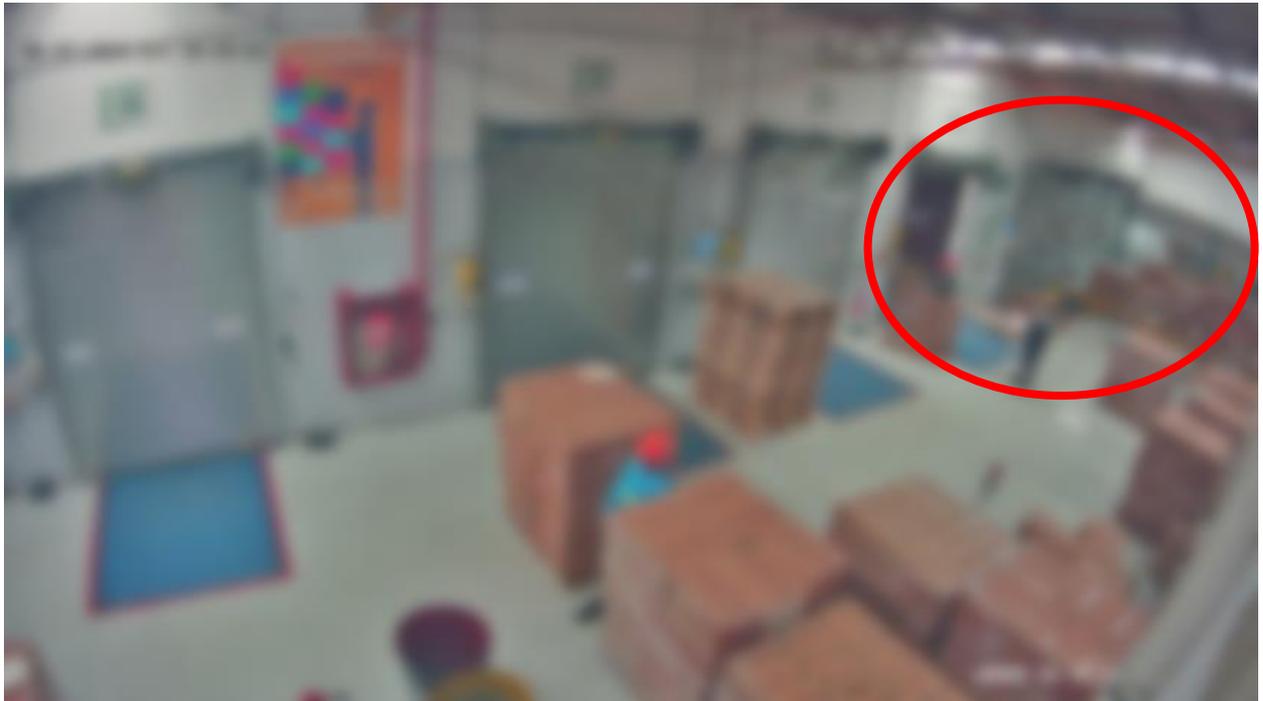
En la zona E “precargas de recepción”, hay cierta disconformidad ya que no todos los andenes están cubiertos, como es el caso de los andenes 28 y 29. (no hay cámara en estos andenes)



Apéndice D

Descripción de las áreas con puntos ciegos y sobrecobertura

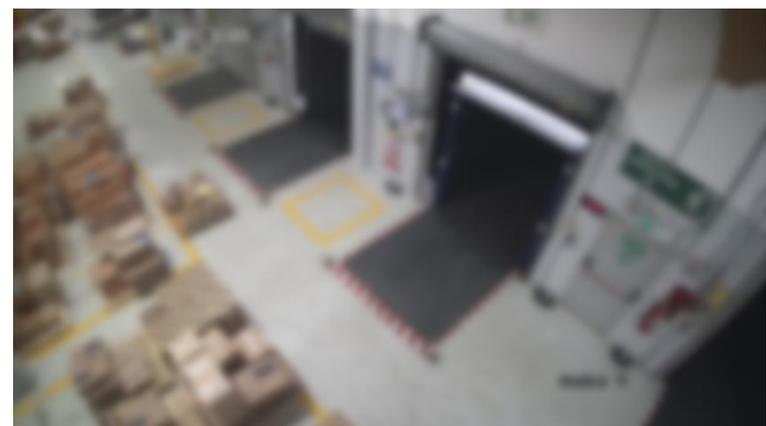
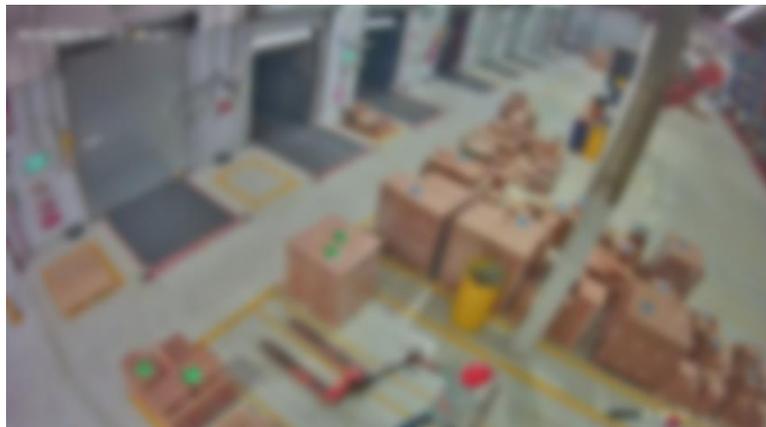
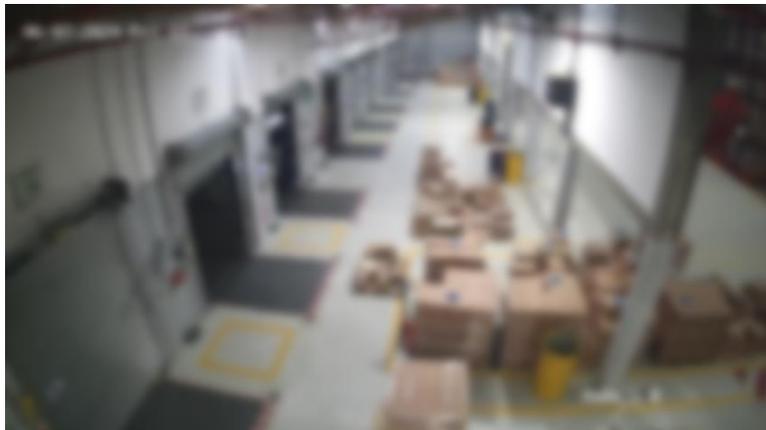
En la zona E de “precargas de recepción”, donde para los andenes finales 35, 36 y 37 no se puede demostrar completamente la acción de despacho del producto, ni los pallets que se van a cargar en los camiones de llegada. Analizando otros ángulos o cámaras, no hay otra imagen que nos permita identificar.



Apéndice D

Descripción de las áreas con puntos ciegos y sobrecobertura

En la zona G se puede observar que hay 3 cámaras enfocando las mismas plataformas 9, 10, 11 y 12. Es decir, se está triplicando la imagen desde diferentes ángulos, lo que no representa un valor importante a la hora de visualizar el procedimiento.



Apéndice E

Modelo propuesto en GAMS

```

1 Sets
2 I set of subareas in the Area /1*23/
3 A set of areas in the DC /1*18/
4 J set of type of camera /1*2/
5 k set of cameras numbers per area /1*23/
6 ;
7
8
9 Parameters
10
11 c(j) Camera coverage range j in square meters
12
13 1 600
14 2 450
15
16
17 v(j) total de camaras disponibles
18 /
19 1 4
20 2 104
21 /
22
23 ;
24 Table
25 m(A, I) Square meters of subarea i in area A
26
27 1 500 24 12 16 18 35.05 12 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
28 2 410.25 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
29 3 150 108 215 103.65 96 214.14 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
30 4 440 440 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
31 5 52 75 120 80 56 96 110 65 77.13 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
32 6 1200 440 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
33 7 120 143.6 213.75 185.26 200 120.88 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
34 8 255 255 255 255 255 255 255 255 255 440 445 415 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
35 9 164.7 171.2 168 165 175 169.25 171.25 154 190 190 120 130.8 175 140 125.2 202.1 90 158.2 156 202 163.2 88 230.8
36 10 306.65 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
37 11 319.45 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
38 12 112.30 201.57 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
39 13 408.02 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
40 14 200.20 100 170.05 140.09 220 180.1 150.9 190 130.85 226 110 210.2 120 160 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
41 15 1020.5 415 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
42 16 94.34 94.34 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
43 17 356.95 200.5 250.52 301.25 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
44 18 400 432.3 540 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
45 ;

```

```

47 Table
48 L(A, k) Lifetime of each specific camera k in area A
49
50 1 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23
51 2 5 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
52 3 5 5 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
53 4 5 5 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
54 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5
55 6 7 7 5 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
56 7 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5
57 8 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5
58 9 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5
59 10 5 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
60 11 5 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
61 12 5 5 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
62 13 5 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
63 14 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5
64 15 5 5 7 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
65 16 5 5 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
66 17 5 5 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
67 18 5 5 5 5 5 5 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
68 ;
69
70 Table
71 T(A, k) Time used for each specific camera k in area A
72
73 1 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6
74 2 6 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
75 3 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6
76 4 3 3 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
77 5 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6
78 6 6 6 6 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
79 7 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2
80 8 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4
81 9 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4
82 10 6 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
83 11 6 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
84 12 3 3 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
85 13 6 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
86 14 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6
87 15 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6
88 16 3 3 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
89 17 6 6 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
90 18 6 6 6 6 6 6 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
91 ;

```

```

93
94 Variables
95   x(A, I, J)      Number of cameras of type j in subarea i of area A
96   cover(A)       Total of coverage in each area
97   coverPercent(A) Percentage of coverage in each area
98   z              Total number of cameras used
99 ;
100
101 Integer Variables
102   x(A, I, J)      Number of cameras of type j in subarea i of area A
103 ;
104
105 Binary Variables
106   R(A, k)        1 if specific camera k in area A needs to be replaced 0 otherwise
107 ;
108
109 Equations
110   OF              Objective function
111   c1              Coverage constraint
112   c2              Number of cameras constraint
113   c3              Camera lifespans constraint
114   coverageConstraint Coverage percentage constraint
115   coveragePercentCalc Coverage percentage calculation
116
117 ;
118
119
120 OF.. z =e= sum((A, I, J), x(A, I, J));
121
122 c1(A, I).. sum(J, x(A, I, J) * c(J)) =g= m(A, I);
123
124 c2(J).. sum((A, I), x(A, I, J)) =l= v(J);
125
126 c3(A, k).. T(A, k) - (L(A, k) * R(A, k)) =l= L(A, k);
127
128 coverageConstraint(A).. cover(A) =g= sum((I, J), x(A, I, J) * c(J)) ;
129
130 coveragePercentCalc(A).. coverPercent(A) =e= cover(A) / sum(I, m(A, I)) * 100
131
132 Model software /all/;
133 Solve software USING MIP MINIMIZE z;
134 * Adjust the coverage percentage to ensure it does not exceed 100%
135 Loop(A,
136   if (coverPercent.l(A) > 100,
137     coverPercent.l(A) = 100

```