

UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA
DEPARTAMENTO DE ELECTRONICA E
INFORMATICA
CONCEPCIÓN CHILE



Automatización de Ascensor comercial integrando un Sistema Regenerativo y Monitoreo a través de HMI.

Nombre Alumno:

Braulio Gervasio Flores Ibañez

Memoria para optar al Título de:

Ingeniería de Ejecución en Instrumentación Control.

Profesor Guía:

Esteban Diaz Montt

Enero 2026



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): Memoria o trabajo de título Tesis de Postgrado

Título del trabajo: Automatización de Ascensor comercial integrando un Sistema Regenerativo y Monitoreo a través de HMI.

Nombre del candidato(a): Braulio Gervasio Flores Ibañez.

Carrera / Grado: Ingeniería de Ejecución en Instrumentación Control.

Campus: Sede Concepción.

Departamento: Electrónica e Informática.

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Esteban Díaz Montt, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución.

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

El trabajo **NO contiene** información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (**embargo**) por (**marcar una opción**):

6 meses 12 meses 2 años 3 años 5 años 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 09-03-2026

Firma: 

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 09-03-2026

Firma: 

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a la Universidad Técnica Federico Santa María, en especial al Departamento de Electrónica e Informática, por brindarme las herramientas y conocimientos necesarios para el desarrollo de este proyecto.

A mi profesor guía, Esteban Díaz Montt, por su orientación, paciencia y valiosas recomendaciones que enriquecieron cada etapa de esta memoria.

A mis compañeros y colegas, quienes con su apoyo y colaboración hicieron posible superar los desafíos técnicos y académicos que se presentaron en el camino.

A mi familia, por su constante respaldo, comprensión y motivación, que fueron fundamentales para mantenerme enfocado y perseverante en este proceso.

Finalmente, agradezco a todas las personas que, de manera directa o indirecta, contribuyeron al logro de este trabajo y a mi formación profesional.

Dedicatoria

Dedico este proyecto a mis padres, quienes con esfuerzo, amor y ejemplo me han enseñado el valor de la disciplina y la perseverancia.

A mis seres queridos, que han estado presentes en cada etapa de mi vida, alentándome a seguir adelante incluso en los momentos más difíciles.

Y a todos aquellos que creen en la importancia de la educación y la innovación como motores de cambio, les ofrezco este trabajo como reflejo de ese compromiso.

Resumen

El proyecto de titulación tiene como objetivo modernizar un ascensor comercial electromecánico mediante la integración de un variador de frecuencia regenerativo Siemens SINAMICS G120, un controlador lógico programable (PLC) Siemens S7-1200 y una interfaz hombre-máquina (HMI) KTP700, con el propósito de mejorar la eficiencia energética, la confiabilidad operativa y el monitoreo en tiempo real del sistema, sin intervenir la estructura mecánica existente.

El proyecto de titulación tiene como objetivo modernizar un ascensor comercial electromecánico mediante la integración de un variador de frecuencia regenerativo Siemens SINAMICS G120, un PLC Siemens S7-1200 y una HMI KTP700, con el fin de mejorar la eficiencia energética, la confiabilidad operativa y el monitoreo en tiempo real, sin modificar la estructura mecánica existente.

Actualmente, muchos ascensores operan con motores de dos velocidades y lógica cableada, lo que limita el control de aceleración y frenado, incrementa el consumo energético y dificulta el mantenimiento predictivo. La solución propuesta incorpora un variador regenerativo capaz de devolver energía a la red durante el frenado y descenso, superando las limitaciones de sistemas convencionales con resistencias de disipación.

El PLC y la HMI permiten supervisar variables críticas como velocidad, corriente, torque, temperatura, consumo energético y estado del freno, además de gestionar alarmas y registros de operación. La comunicación entre dispositivos se realiza mediante PROFINET, asegurando transmisión confiable y en tiempo real.

Metodológicamente, el proyecto incluyó diagnóstico del sistema existente, selección y dimensionamiento de equipos, diseño de arquitectura de control y potencia, programación en TIA Portal y elaboración de especificaciones técnicas conforme a normativas IEC e ISO aplicables.

La evaluación técnico-económica determinó un ahorro energético estimado entre 20 % y 25 %, equivalente a una reducción significativa de costos de operación y un retorno de inversión en aproximadamente cinco años. En conclusión, la solución propuesta es técnica y económicamente viable, mejora el desempeño energético y fortalece la seguridad y el mantenimiento predictivo en sistemas de transporte vertical.

Contenido

Introducción	1
Justificación del proyecto	3
Objetivos generales	4
Objetivos específicos	5
Metodología general	5
Alcances del proyecto	6
Limitaciones del proyecto	7
Capítulo 1: Marco Teórico	8
1.1 Evolución de la Automatización en Ascensores	8
1.2 Funcionamiento General de un Ascensor Electromecánico	10
1.3 Conceptos Clave de Automatización	17
1.4 Mantenimiento predictivo	19
1.5 Normativa y aspectos técnicos.....	19
1.6 Síntesis del capítulo	20
Capítulo 2: Diagnóstico y Análisis Inicial	21
2.1 Contexto del problema	21
2.2 Situación actual del sistema de elevación.....	21
2.3 Ficha técnica del motor Otis 14 VTR.....	22
2.4 Identificación de necesidades técnicas	24
2.5 Análisis del estado actual del sistema	24
Capítulo 3: Diseño Técnico de la Solución	25
3.1 Diagnóstico y Requisitos de Modernización.....	25
3.2 Selección e Integración de Equipos	28
3.3 Arquitectura de Automatización	32
3.4 Comparación de Alternativas	33
3.5 Criterios Técnicos para la Selección del Variador	34
3.6 Justificación técnica	35
3.7 Conclusiones parciales del diseño	35

Capítulo 4: Selección de PLC y HMI Compatible con variador regenerativo.....	36
4.1 Requisitos Funcionales del Sistema de Control	36
4.2 Equipos Seleccionados	37
Características clave del PLC Siemens S7-1200	37
Aplicaciones típicas	38
4.3 Justificación técnica PLC	38
4.4 Selección de la HMI: Siemens KTP700 Basic.....	39
Características destacadas del HMI Siemens KTP700 Basic	39
Aplicaciones comunes	39
4.5 Justificación técnica HMI	40
4.6 Criterios Técnicos de Selección del PLC Y HMI	40
4.7 Comparación de Alternativas de PLC Y HMI.....	41
4.8 Justificación Final Selección Variador, PLC Y HMI	41
4.9 Análisis técnico de la selección PLC y HMI	42
Capítulo 5: Programación de la Lógica de Monitoreo en PLC para Visualizar Variables Críticas en HMI	43
5.1 Diseño de Solución de Monitoreo	43
5.1.1 Organización de la solución en tres capas	45
5.2 Procedimientos Técnicos	45
5.2.1 Configuración de comunicación PLC-Variador	45
5.2.2 Lógica de procesamiento en PLC	47
5.2.3 Diseño de pantallas HMI	50
5.3 Síntesis del Capítulo.....	50
Capítulo 6: Diseño de la Interfaz HMI para Alertas y Seguimiento de Condiciones Operativas	51
6.1 Objetivo del Diseño de la Interfaz HMI.....	51
6.2 Principios de Diseño de la Interfaz	53
6.3 Arquitectura de Pantallas HMI	54
Pantalla 1: Estado General del Ascensor	54
Pantalla 2: Monitoreo del Motor y Variador	55

Pantalla 3: Energía y Regeneración	56
Pantalla 4: Alarmas	57
Pantalla 5: Ciclos	58
6.4 de Navegación de la HM Flujo.....	59
6.5 Integración con PLC y Variador	60
6.6 Beneficios del Diseño Propuesto	61
Capítulo 7: Especificación Técnica de los Equipos Principales	62
7.1 Variador de Frecuencia Regenerativo Siemens SINAMICS G120 con Active Line Module + PM250-2 (37KW)	62
7.1.1 Componentes y flujo de energía.....	63
7.1.2 Flujo de regeneración en el diagrama	64
7.2 Especificación Técnica PLC Siemens S7-1200	64
7.3 Especificación Técnica HMI Siemens KTP700 Basic	65
7.4 Especificación Técnica Freno de Motor	66
7.5 Especificación Técnica Motor Otis VTR 14	67
7.6 Resumen técnico del capítulo	68
Capítulo 8: Resultados y Evaluación Técnico y/o Económica	69
8.1 Resultados Obtenidos	69
8.2 Evaluación Técnica	71
8.3 Costos de Implementación (Detalle Técnico-Económico)	72
8.3.1 Resumen General de Costos	73
8.3.2 Cotización Comparativa de Componentes Empresas de Concepción, Chile	74
8.3.2.1 Sonepar Chile	74
8.3.2.2 Inducom	74
8.3.2.3 Ingetech Ltda.	75
8.3.2.4 Ascensores Otis	75
8.3.2.5 Ascensores Magna	76
8.3.3 Resumen Comparativo Final	76
8.4 Evaluación Económica y ROI	78
8.5 Evaluación Técnico-Económica de los Resultados.....	81

Conclusión	82
BIBLIOGRAFÍA.....	83
ANEXOS	84

Índice de figuras

Figura 1: Imagen Edificios con sistemas de ascensores como transporte vertical. Fuente: Internet.	1
Figura 2: Imagen Ascensor. Fuente: Elaboración Propia.....	2
Figura 3: Imagen de Control Existente. Fuente: Elaboración Propia.....	3
Figura 4: Imagen Motor Existente. Fuente: Elaboración Propia.....	4
Figura 5: Imagen Ascensor Antiguo. Fuente: Internet.	8
Figura 6: Imagen Ascensor Año 90'. Fuente: Elaboración Propia.	9
Figura 7: Imagen Ascensor Moderno. Fuente: Internet.....	9
Figura 8: Imagen Motor Ascensor. Fuente: Elaboración Propia.	10
Figura 9: Imagen Polea de Tracción. Fuente: Elaboración Propia.	11
Figura 10: Imagen Cables de Acero "Tracción". Fuente: Internet.....	11
Figura 11: Imagen de Contrapeso. Fuente: Internet.	12
Figura 12: Imagen Motor con Freno Electromagnético. Fuente: Elaboración Propia.....	12
Figura 13: Imagen Freno Electromagnético Motor. Fuente: Internet.....	13
Figura 14: Imagen Control de Motor Ascensor. Fuente: Elaboración Propia.....	13
Figura 15: Imagen de Tarjeta Controladora Lcb2. Fuente: Elaboración Propia.....	14
Figura 16: Imagen sensor inductivo de posición. Fuente: Internet.....	14
Figura 17: Imagen Encoder "Sensor de Velocidad". Fuente: Internet.....	15
Figura 18: Imagen Sensor Pesa Carga. Fuente: Internet.	15
Figura 19: Imagen Sensor de Temperatura de Motor. Fuente: Internet.	15
Figura 20: Imagen Componentes Principales de Motor Asíncrono 2 Velocidades. Fuente: Internet.	16
Figura 21: Imagen Diagrama de Fuerza Motor Asíncrono 2 Velocidad. Fuente: Planos Otis.	16
Figura 22: Imagen Conexión Motor 2 Velocidades. Fuente: Internet.	17
Figura 23: Imagen Sensor Inductivo de Piso. Fuente: Internet.....	18
Figura 24: Imagen Encoder Incremental de Velocidad. Fuente: Internet.....	18
Figura 25: Imagen Termistor de Temperatura de Motor. Fuente: Internet.	18
Figura 26: Imagen Motor Otis 14 VTR de 2 Velocidades. Fuente: Elaboración Propia.	22
Figura 27: Imagen Control Convencional Ascensor. Fuente: Elaboración Propia.	25
Figura 28: Imagen Motor Existente Otis 14 VTR. Fuente: Elaboración Propia.	26

Figura 29: Imagen Cableado del Control Existente. Fuente: Elaboración Propia.	26
Figura 30: Imagen Freno de Motor Otis 14 VTR. Fuente: Elaboración Propia.	27
Figura 31: Imagen Gabinete de Resistencia. Fuente: Elaboración Propia.	27
Figura 32: Imagen Resistencia que absorbe la energía generada por el motor. Fuente: Internet.	28
Figura 33: Imagen Variador de Frecuencia Siemens Sinamics G120. Fuente: Manual Siemens.....	29
Figura 34: Imagen Conexión de Potencia Modulo PM250. Fuente: Manual Siemens.....	29
Figura 35: Imagen PLC Siemens S7-1200. Fuente: Internet.....	37
Figura 36: Imagen HMI KTP 700 Basic. Fuente: Internet	39
Figura 37: Imagen Variables de variador en Tía Portal. Fuente: Elaboración Propia.	44
Figura 38: Imagen de Tags Variador de Frecuencia en Tía Portal. Fuente: Elaboración Propia.	44
Figura 39: Imagen de Comunicación entre Drive, PLC y HMI en Tía Portal. Fuente: Elaboración Propia.....	46
Figura 40: Imagen Programa de Bloque de variador en Tía Portal. Fuente: Elaboración Propia	47
Figura 41: Imagen Programación en FB de arranque y Velocidad del Motor. Fuente: Elaboración Propia.....	48
Figura 42: Imagen Programación en FB de Corriente de Motor y Torque de Motor. Fuente: Elaboración Propia.....	48
Figura 43: Imagen Programación en FB de Potencia de Motor y Entrada Voltaje de Motor. Fuente: Elaboración Propia.	49
Figura 44: Imagen Programación en FB de Estado Variador de Frecuencia. Fuente: Elaboración Propia.....	49
Figura 45: Imagen Comunicación de Drive Y PLC en Tía Portal. Fuente: Elaboración Propia.	51
Figura 46: Imagen Comunicación de PLC con HMI Y Variador en Tía Portal. Fuente: Elaboración Propia.....	52
Figura 47: Imagen Pantalla n°1 Estado General del ascensor. Fuente: Elaboración Propia.	54
Figura 48: Imagen Pantalla n°2 Monitoreo del Motor y Variador. Fuente: Elaboración Propia	55
Figura 49: Imagen Pantalla n°3 Energía y Regeneración. Fuente: Elaboración Propia.....	56
Figura 50: Imagen Pantalla n°4 Alarmas. Fuente: Elaboración Propia	57
Figura 51: Imagen Pantalla n°5 Ciclos. Fuente: Elaboración Propia.	58
Figura 52: Imagen de Flujo Navegación HMI. Fuente: Elaboración Propia.	59
Figura 53: Imagen Comunicación Variador, PLC Y HMI. Fuente: Elaboración Propia..	60
Figura 54: Imagen Diagrama de Potencia Modulo PM250. Fuente: Manual Siemens	63

Índice de Tablas

Tabla 1: Normativas y aspectos Técnicos. Fuente: Elaboración Propia.	19
Tabla 2: Ficha técnica del motor Otis 14 VTR. Fuente: Manual Otis.....	23
Tabla 3: Componentes Principales del Sistema Sinamics G120. Fuente: Manual Siemens.	30
Tabla 4: Funciones específicas de los Módulos Variador Sinamics G120. Fuente: Manual Siemens.....	30
Tabla 5: Comparación de alternativas de variadores. Fuente: Elaboración Propia.	33
Tabla 6: Criterios Técnicos para la selección del variador. Fuente: Elaboración Propia. ..	34
Tabla 7: Criterios Técnicos de Selección del PLC Y HMI. Fuente: Elaboración Propia. ...	40
Tabla 8: Comparación de Alternativas de PLC Y HMI. Fuente: Elaboración Propia.	41
Tabla 9: Variables Críticas de Programación. Fuente: Elaboración Propia.....	43
Tabla 10: Ejemplos de mapeos. Fuente: Elaboración Propia.	46
Tabla 11: Características Técnicas Variador siemens G120. Fuente: Manual Siemens.....	62
Tabla 12: Características técnicas PLC Siemens S-7 1200. Fuente: Manual Siemens.....	65
Tabla 13: Características Técnicas HMI KTP 700 Basic. Fuente: Manual Siemens.	66
Tabla 14: Características Técnicas Freno de Motor. Fuente: Manual Otis.	67
Tabla 15: Características Técnicas Motor Otis VTR14. Fuente: Manual Otis.	68
Tabla 16: Resumen General costo del Proyecto. Fuente: Elaboración Propia.....	73
Tabla 17: Cotización Empresa Sonepar Chile.....	74
Tabla 18: Cotización Empresa Sonepar Chile.....	74
Tabla 19: Cotización Empresa Ingetech Ltda.	75
Tabla 20: Cotización Empresa Ascensores Otis,	75
Tabla 21: Cotización Ascensores Magna.	76
Tabla 22: Resumen de Cotización Comparativa Fuente: Elaboración Propia.	76

Índice de Gráficos

Gráfico 1: Comparación Consumo Actual vs Proyecto. Fuente: Elaboración Propia.	70
Gráfico 2: Distribución de Valor del Proyecto. Fuente: Elaboración Propia.....	73
Gráfico 3: Comparación de Cotización Total de Proyecto. Fuente: Elaboración Propia. ...	77
Gráfico 4: Payback Acumulado vs inversión inicial. Fuente: Elaboración Propia.	79

Introducción

En muchos edificios comerciales, los ascensores cumplen un rol esencial en la movilidad diaria de personas, trabajadores y visitantes. Su funcionamiento constante, especialmente en edificios de mediana y alta concurrencia, exige sistemas confiables, seguros y eficientes. Sin embargo, una gran parte de estos equipos siguen operando con tecnologías de control antiguos y tradicionales que, si bien cumplen con su función básica, no responden a las necesidades actuales de eficiencia, supervisión y continuidad operativa.

Estos sistemas antiguos no están diseñados para aprovechar la energía que se genera durante el desplazamiento descendente ni para entregar información útil sobre el estado del ascensor. Como resultado, se produce un consumo energético demasiado alto, lo que impacta directamente en los costos de operación del edificio. Además, el desgaste de los componentes se acelera debido a la falta de regulación en los ciclos de movimiento, y las fallas suelen detectarse solo cuando ya han ocurrido, lo que obliga a realizar reparaciones urgentes y muchas veces costosas y del tiempo que se demora en obtener dicho repuesto debido a lo obsoleto del equipo.

La ausencia de herramientas que permitan anticipar problemas o visualizar el comportamiento del sistema en tiempo real genera una fuerte dependencia del mantenimiento correctivo. Esto no solo afecta la eficiencia del servicio, sino que también puede generar molestias a los usuarios, interrupciones prolongadas y una percepción negativa sobre la calidad de la infraestructura del equipo.

En este contexto, se vuelve evidente la necesidad de modernizar el sistema de control del ascensor, incorporando soluciones que permitan una operación más inteligente, sostenible y confiable. Esta propuesta no implica sustituir el equipo existente, sino optimizar su gestión funcional para alinearse con los estándares de desempeño exigidos actualmente.



Figura 1: Imagen Edificios con sistemas de ascensores como transporte vertical. Fuente: Internet.



Figura 2: Imagen Ascensor. Fuente: Elaboración Propia.

Dentro de los principales efectos asociados a esta problemática están:

- Un alto consumo energético por falta de recuperación de energía durante ascenso, descenso y frenado.
- Ausencia de monitoreo que permita anticipar fallas en el equipo.
- Dependencia de mantenimiento correctivo, generando paradas inesperadas, debido a la obsolescencia de componente críticos.

Dentro de las principales causas asociados a estas problemáticas están:

- El sistema actual no cuenta con variador de frecuencia regenerativo.
- No existe integración entre el motor y sistemas de monitoreo.
- No se aplican estrategias de mantenimiento predictivo basadas en datos operativos.

La permanencia de sistemas de control obsoletos en ascensores comerciales genera ineficiencias energéticas, mayores costos de operación y una limitada capacidad de supervisión del estado del equipo, lo que impacta directamente en la confiabilidad del servicio y en la experiencia de los usuarios. Frente a este escenario, resulta técnicamente pertinente analizar y proponer una alternativa de modernización que permita optimizar el control del movimiento, aprovechar la energía generada durante la operación y disponer de información en tiempo real para la toma de decisiones operativas, sin requerir modificaciones en la estructura mecánica existente.

Justificación del proyecto

La automatización del sistema permite modernizar la infraestructura sin reemplazarla, incorporando eficiencia energética y monitoreo a través de una interfaz hombre-máquina (HMI). Esto mejora la confiabilidad operativa, reduce los costos asociados a la operación y al mantenimiento, y se alinea con las políticas actuales de eficiencia energética. Adicionalmente, resulta recomendable implementar esta solución para asegurar la continuidad operativa del ascensor y extender la vida útil del sistema, considerando la creciente indisponibilidad de repuestos y soporte técnico para tecnologías de control obsoletas. Además, el uso de tecnologías regenerativas permite recuperar energía durante el movimiento, lo que representa un beneficio técnico y económico directo.

1. Control existente



Figura 3: Imagen de Control Existente. Fuente: Elaboración Propia.

2. Maquina existente



Figura 4: Imagen Motor Existente. Fuente: Elaboración Propia.

Objetivos generales

Diseñar un sistema de automatización para el accionamiento eléctrico de un ascensor comercial de 12 pasajeros, mediante la integración de un variador de frecuencia regenerativo, un controlador lógico programable (PLC) y una interfaz HMI, con el propósito de optimizar su funcionamiento, permitiendo validar en un caso real la aplicación integrada de técnicas de automatización industrial y control eléctrico en sistemas de transporte vertical.

Objetivos específicos

1. _ Diagnosticar el estado actual del sistema de elevación y sus limitaciones técnicas.
2. _ Seleccionar e integrar un variador de frecuencia regenerativo compatible con el motor existente.
3. _ Seleccionar e integrar un PLC y HMI que sea compatible con el variador de frecuencia regenerativo.
4. _ Programar la lógica de monitoreo en PLC para visualizar variables críticas en HMI.
5. _ Diseñar una interfaz HMI que permita alertas y seguimiento de condiciones operativas.
6. _ Elaborar especificación técnica de los equipos principales.
7. _ Realizar evaluación técnico-económica del proyecto.

La definición de estos objetivos específicos permite estructurar el desarrollo del proyecto de manera metodológica y verificable, asegurando una secuencia lógica desde el diagnóstico inicial hasta la evaluación final de la solución propuesta. Cada objetivo responde a una etapa concreta del proceso de diseño e implementación, facilitando la validación técnica del sistema automatizado y garantizando la coherencia entre el análisis, el diseño, la integración y la evaluación del proyecto.

Metodología general

En este proyecto se abordará a partir de una instalación existente y sus datos técnicos, posteriormente especificar los componentes necesarios existente actualmente para lograr la automatización.

De esta forma, el trabajo se desarrolla siguiendo una secuencia ordenada y coherente entre las distintas etapas del proyecto.

Alcances del proyecto

1. Automatización completa del sistema de control del ascensor

Se desarrollará una arquitectura de control que reemplaza el sistema convencional por una solución basada en variador de frecuencia, PLC y HMI. Esto incluye la lógica de control, visualización de variables críticas y documentación técnica. La automatización contempla todas las etapas del ciclo de operación: arranque, desplazamiento, aproximación, parada y gestión de fallas.

2. Integración de variador regenerativo, PLC y HMI

El proyecto contempla la selección e integración de un variador regenerativo, compatible con el motor existente. Se utilizará un PLC para gestionar la lógica de control que compatibilicen con tarjeta lcb2 Otis y una HMI para visualización y diagnóstico. Esta integración permite visualizar perfiles de velocidad, activar rampas de aceleración y frenado, y recuperar energía durante el descenso.

3. evaluación económica del sistema

Se desarrollará una evaluación económica que incluye estimación de ahorro anual, retorno de inversión (ROI) y análisis de costos de implementación. Esta etapa permite demostrar la viabilidad financiera del proyecto sin necesidad de ejecución física.

La definición de estos alcances permite delimitar claramente el trabajo a desarrollar, estableciendo los límites técnicos y económicos del proyecto y evitando la incorporación de actividades ajenas a los objetivos planteados. De esta manera, se asegura un enfoque controlado y coherente, orientado al análisis, diseño y evaluación del sistema de automatización propuesto.

Limitaciones del proyecto

El proyecto se enfoca exclusivamente en la automatización del sistema de control. No se contempla intervención sobre componentes mecánicos como guías, cabina, contrapeso, poleas o estructura de soporte. Esto garantiza que la solución propuesta sea aplicable a sistemas existentes sin requerir modificaciones estructurales.

El alcance del proyecto se limita a diseño y documentación técnica. No se incluye la instalación real de los equipos ni la puesta en marcha en terreno. Sin embargo, se deja abierta la posibilidad de implementación futura, ya que todos los componentes seleccionados son comerciales y compatibles con el sistema actual.

Estas limitaciones permiten acotar el proyecto a un nivel de ingeniería y análisis, asegurando un desarrollo controlado y acorde a los tiempos y recursos disponibles. De esta forma, se concentra el trabajo en el diseño, la integración y la evaluación del sistema de automatización, sin incorporar variables propias de la ejecución en terreno que exceden el alcance académico del proyecto.

Capítulo 1: Marco Teórico

1.1 Evolución de la Automatización en Ascensores

La automatización de ascensores ha experimentado una evolución significativa en las últimas décadas, pasando de sistemas de control basados en contactores y relés hacia arquitecturas inteligentes que integran variadores de frecuencia, controladores lógicos programables (PLC), interfaces hombre-máquina (HMI) y sensores digitales. Esta transformación responde a la necesidad de mejorar la eficiencia energética, la seguridad operativa, el confort de desplazamiento y la disponibilidad del servicio.

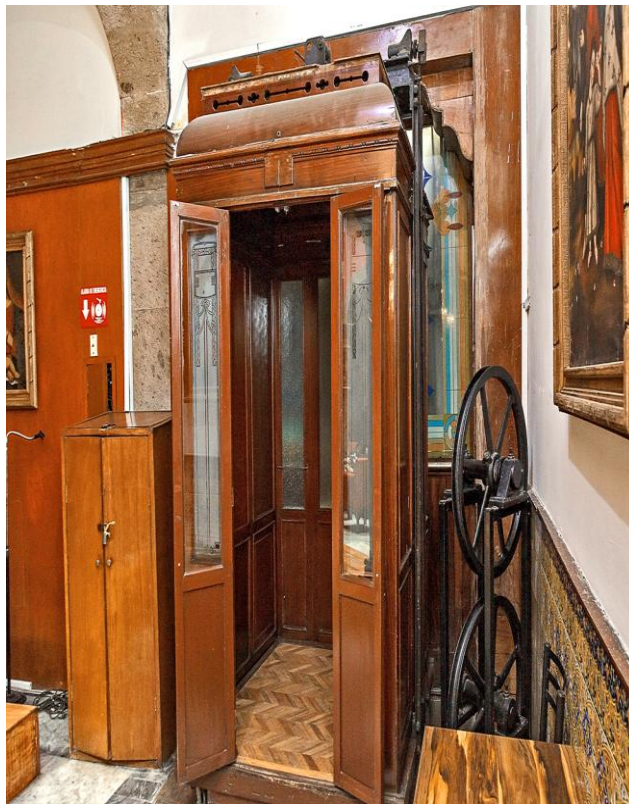


Figura 5: Imagen Ascensor Antiguo. Fuente: Internet.



Figura 6: Imagen Ascensor Año 90'. Fuente: Elaboración Propia.



Figura 7: Imagen Ascensor Moderno. Fuente: Internet.

Los sistemas convencionales, como el controlador ADV 210 con tarjeta LCB2, operan mediante lógica cableada y motores de doble devanado. Si bien cumplen con las funciones básicas de control, presentan limitaciones significativas que afectan la eficiencia y confiabilidad del ascensor. Entre ellas se encuentran la imposibilidad de aplicar rampas de aceleración y frenado, la ausencia de mecanismos de recuperación energética y la falta de visualización de variables críticas. Estas restricciones se traducen en movimientos bruscos, mayor desgaste mecánico y una dependencia marcada del mantenimiento correctivo.

En contraste, los sistemas modernos integran tecnologías de automatización industrial que permiten un control más preciso del comportamiento del motor, una adaptación dinámica a las condiciones reales de operación y un monitoreo continuo de las variables críticas del sistema. Esta evolución tecnológica no solo mejora el rendimiento técnico y la seguridad operativa, sino que también contribuye a la reducción de los costos de mantenimiento y a la extensión de la vida útil del ascensor, alineándose con los estándares actuales de eficiencia y sostenibilidad.

1.2 Funcionamiento General de un Ascensor Electromecánico

Un ascensor electromecánico funciona mediante la interacción de componentes eléctricos, mecánicos y de control que permiten el desplazamiento vertical seguro de una cabina entre distintos niveles. El sistema de tracción está compuesto por:

Componentes principales

- Motor eléctrico trifásico: genera el movimiento rotacional necesario para accionar la polea de tracción.



Figura 8: Imagen Motor Ascensor. Fuente: Elaboración Propia.

- Polea de tracción: transmite el movimiento del motor a los cables de acero.



Figura 9: Imagen Polea de Tracción. Fuente: Elaboración Propia.

- Cables de acero: conectan la cabina y el contrapeso, permitiendo el desplazamiento vertical.



Figura 10: Imagen Cables de Acero "Tracción". Fuente: Internet.

- Contrapeso: equilibra la carga de la cabina, reduciendo el esfuerzo del motor y mejorando la eficiencia energética.



Figura 11: Imagen de Contrapeso. Fuente: Internet.



Figura 12: Imagen Motor con Freno Electromagnético. Fuente: Elaboración Propia.



Figura 13: Imagen Freno Electromagnético Motor. Fuente: Internet.

- Sistema de control: gestiona el encendido del motor, la selección de velocidad, la apertura y cierre de puertas, y la respuesta a llamadas de piso.



Figura 14: Imagen Control de Motor Ascensor. Fuente: Elaboración Propia.

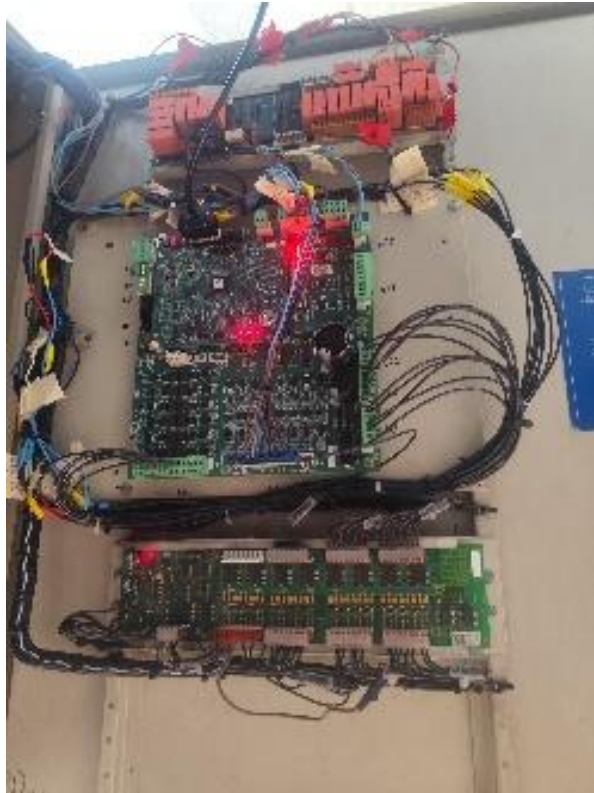


Figura 15: Imagen de Tarjeta Controladora Lcb2. Fuente: Elaboración Propia.

- Sensores: detectan posición, velocidad, carga y temperatura, permitiendo decisiones operativas y activación de alarmas.



Figura 16: Imagen sensor inductivo de posición. Fuente: Internet.



Figura 17: Imagen Encoder "Sensor de Velocidad". Fuente: Internet.



Figura 18: Imagen Sensor Pesa Carga. Fuente: Internet.



Figura 19: Imagen Sensor de Temperatura de Motor. Fuente: Internet.

En el caso del motor Otis 14 VTR, se utiliza una configuración de doble devanado que permite operar en dos velocidades fijas (750 rpm y 1500 rpm), mediante conmutación de bobinados. Esta arquitectura no permite rampas de aceleración ni frenado, lo que puede generar movimientos bruscos y mayor desgaste mecánico.

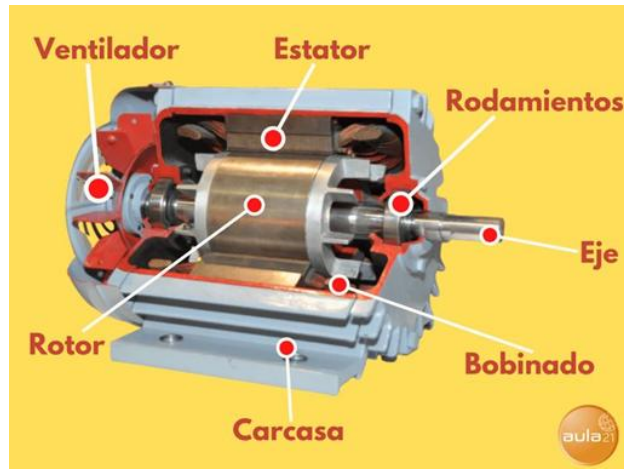


Figura 20: Imagen Componentes Principales de Motor Asincrónico 2 Velocidades. Fuente: Internet.

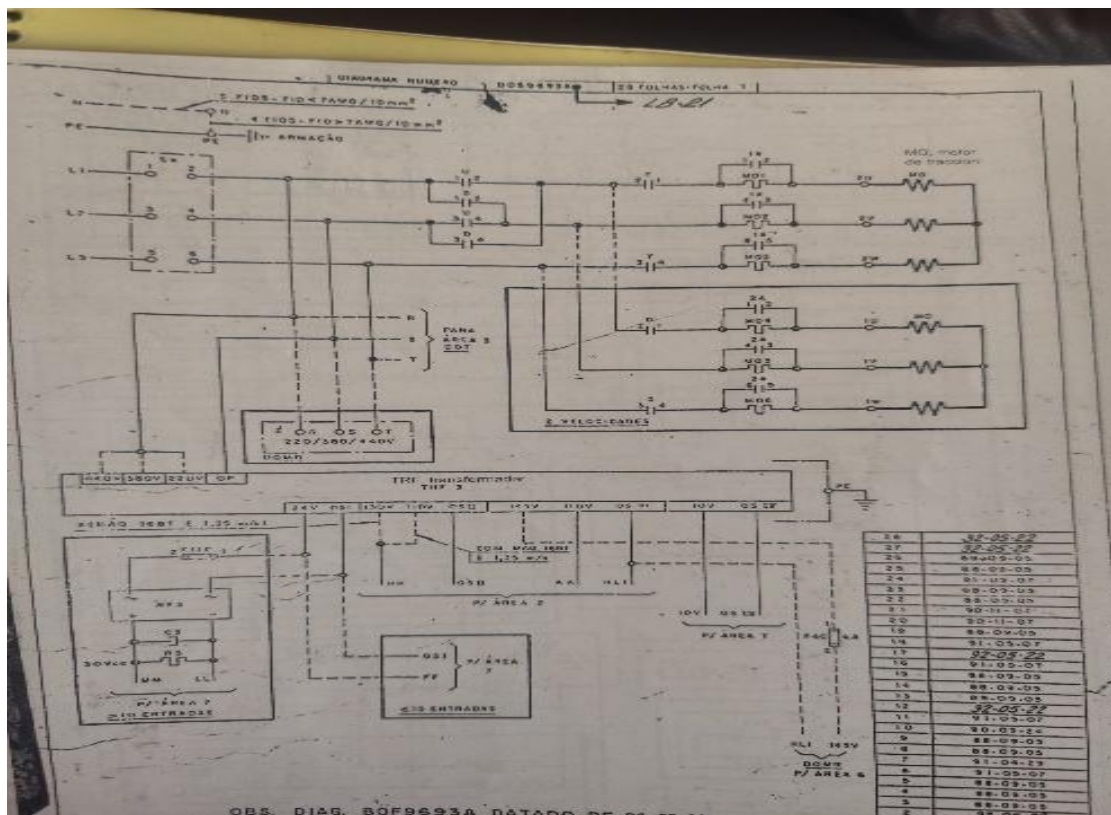


Figura 21: Imagen Diagrama de Fuerza Motor Asincrónico 2 Velocidad. Fuente: Planos Otis.

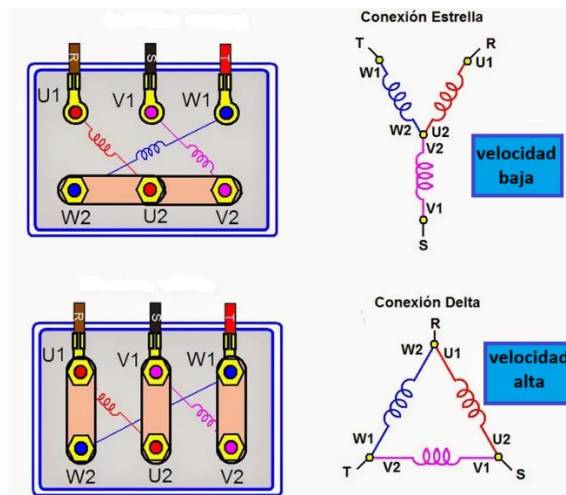


Figura 22: Imagen Conexión Motor 2 Velocidades. Fuente: Internet.

1.3 Conceptos Clave de Automatización

Para superar las limitaciones del sistema tradicional, el presente proyecto propone la integración de tecnologías de automatización industrial que permitan mejorar la eficiencia, la seguridad y la capacidad de diagnóstico del ascensor.

El **variador de frecuencia (VFD)** es un dispositivo electrónico que regula la velocidad del motor ajustando la frecuencia de la corriente suministrada. Su incorporación permite un control continuo de la velocidad, la aplicación de rampas de aceleración y frenado, la reducción del consumo energético y, en el caso de variadores regenerativos, la recuperación de energía durante los ciclos de descenso, ascenso y frenado.

El **controlador lógico programable (PLC)** constituye la unidad de control digital encargada de ejecutar la lógica secuencial mediante programación estructurada. Entre sus funciones se incluyen la gestión de entradas y salidas digitales, la temporización, el conteo y la comparación de señales, además de la implementación de lógica de seguridad y diagnóstico. Asimismo, el PLC facilita la comunicación con otros dispositivos como el variador, la HMI y los sensores, asegurando una integración confiable del sistema.

La **interfaz hombre-máquina (HMI)** corresponde a una pantalla gráfica que permite visualizar el estado del sistema, activar funciones, registrar eventos y facilitar la interacción operativa. En el contexto de este proyecto, la HMI mostrará información relevante como el piso actual y la dirección de desplazamiento, el estado de las puertas y del freno, alarmas relacionadas con temperatura, ciclos y consumo energético, así como el historial de fallas y mantenimiento.

Finalmente, los **sensores** son dispositivos que detectan variables físicas como posición, velocidad, carga o temperatura. Sus señales son procesadas por el PLC para la toma de decisiones operativas, garantizando un control preciso y seguro del sistema. Ejemplos de estos sensores incluyen aquellos destinados a medir la posición de la cabina, la velocidad de desplazamiento, la temperatura del motor y la carga transportada.

- Sensor inductivo de piso.



Figura 23: Imagen Sensor Inductivo de Piso. Fuente: Internet.

- Encoder incremental de velocidad.



Figura 24: Imagen Encoder Incremental de Velocidad. Fuente: Internet.

- Termistor de temperatura del motor.



Figura 25: Imagen Termistor de Temperatura de Motor. Fuente: Internet.

1.4 Mantenimiento predictivo

Estrategia basada en el monitoreo continuo de variables críticas para anticipar fallas antes de que ocurran.

Permite:

- Programar intervenciones técnicas.
- Reducir paradas inesperadas.
- Extender la vida útil de componentes.

1.5 Normativa y aspectos técnicos

La automatización de sistemas de transporte vertical debe cumplir con normativas nacionales e internacionales que regulan la seguridad eléctrica, compatibilidad electromagnética, eficiencia energética y comunicación entre dispositivos.

A continuación, se detallan las principales normas aplicables al proyecto:

Tabla 1: Normativas y aspectos Técnicos. Fuente: Elaboración Propia.

Normas	Organismo	Aplicación	Relevancia en el proyecto
Decreto Supremo N°58	MINVU(Chile)	Seguridad y operación de ascensores.	Asegura el cumplimiento legal y teórico.
IEC 60204-1	IEC	Seguridad eléctrica en máquinas.	Aplica el diseño del tablero de control.
ISO 25745-2	ISO	Eficiencia energética en ascensores.	Permite evaluar ahorro energético logrado.
IEEE 1451	IEEE	Interoperabilidad de sensores.	Facilita integración de sensores al PLC.

El Decreto Supremo N° 58 del MINVU (Chile):

Emitido por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo, regula el diseño, instalación y operación de ascensores en edificaciones chilenas. Este decreto establece requisitos mínimos de seguridad para ascensores eléctricos, define condiciones de carga, velocidad, señalización y mantenimiento, y exige inspecciones periódicas junto con certificación técnica por organismos acreditados. Su importancia en el proyecto radica en asegurar que la modernización propuesta no infrinja requisitos legales y en validar que el sistema automatizado mantenga condiciones de seguridad estructural y funcional.

La norma IEC 60204-1:

Seguridad de máquinas eléctricas, elaborada por la International Electrotechnical Commission (IEC), establece lineamientos de seguridad eléctrica en sistemas de automatización industrial. Incluye requisitos para cableado, protecciones, puesta a tierra y dispositivos de corte, además de normas para el diseño de paneles eléctricos, señalización y documentación técnica. En el contexto del proyecto, esta norma garantiza que el sistema automatizado cumpla con estándares internacionales de seguridad eléctrica y aplica directamente al diseño del tablero de control, variador, PLC y HMI.

Por su parte, la norma ISO 25745-2:

Eficiencia energética en ascensores, desarrollada por la International Organization for Standardization (ISO), permite evaluar el consumo energético de ascensores tanto en operación como en reposo. Define métodos de medición y clasificación energética de sistemas de elevación. Su relevancia en el proyecto se centra en la posibilidad de cuantificar el ahorro energético logrado mediante el uso de un variador regenerativo y en justificar la inversión desde una perspectiva de sostenibilidad.

Finalmente, el estándar IEEE 1451:

Interoperabilidad de sensores, elaborado por el Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), establece protocolos de comunicación para sensores y módulos de transductores, además de normas para identificación, calibración y transmisión de datos. En el proyecto, esta normativa facilita la integración de sensores de temperatura, ciclos y vibración al PLC, asegurando que el sistema sea escalable y compatible con futuras expansiones.

En conjunto, estas normativas aseguran que la propuesta de modernización del ascensor no solo sea técnicamente viable, sino también legalmente conforme, segura para los usuarios y alineada con estándares internacionales de eficiencia energética y automatización industrial.

1.6 Síntesis del capítulo

El marco teórico desarrollado permitió contextualizar el proyecto dentro de la evolución de la automatización en sistemas de transporte vertical, abordando los principios de funcionamiento de los ascensores electromecánicos y los conceptos fundamentales asociados al uso de variadores de frecuencia, PLC, HMI y sensores industriales. Asimismo, se analizaron los lineamientos normativos nacionales e internacionales aplicables, los cuales establecen los criterios de seguridad, eficiencia energética y confiabilidad que deben cumplir los sistemas modernizados. En conjunto, este capítulo entrega la base conceptual necesaria para comprender las decisiones técnicas adoptadas en el desarrollo del proyecto.

Capítulo 2: Diagnóstico y Análisis Inicial

2.1 Contexto del problema

El sistema de transporte vertical objeto de estudio corresponde a un ascensor electromecánico instalado en un edificio comercial, con capacidad para 12 pasajeros y una carga nominal de 1150 kg. Su arquitectura de control está basada en lógica cableada, operando mediante un motor trifásico Otis 14 VTR de doble devanado, gestionado por un controlador ADV 210 y una tarjeta LCB2.

Si bien el sistema cumple con funciones básicas de desplazamiento, presenta limitaciones técnicas y operativas que afectan la eficiencia energética, el confort de viaje, la capacidad de diagnóstico y la adaptabilidad a tecnologías modernas.

2.2 Situación actual del sistema de elevación

Actualmente, el ascensor presenta las siguientes características técnicas:

Un motor de doble velocidad que opera a 750 rpm (8 polos) y 1500 rpm (4 polos), mediante conmutación de bobinados, un control binario que la selección de velocidad se realiza mediante relés, sin rampas de aceleración ni frenado, además de un sistema de control cableado que no permite programación ni monitoreo digital, usa un freno electromagnético que actúa por defecto en reposo, liberándose al iniciar el movimiento, tiene ausencia de recuperación energética ya que la energía generada en el descenso se disipa como calor, tampoco registran variables como temperatura, ciclos, consumo ni fallas, tiene Interfaz limitada es decir el panel de llamada no entrega información sobre el estado del sistema.

Estas condiciones generan incomodidad para los pasajeros, mayor desgaste mecánico, consumo energético elevado y dependencia del mantenimiento correctivo, lo que justifica la necesidad de una intervención técnica.

2.3 Ficha técnica del motor Otis 14 VTR

El motor Otis 14 VTR es un motor trifásico de inducción con doble devanado, diseñado para operar en dos velocidades mediante bobinados independientes. A continuación, se detallan sus características técnicas:



Figura 26: Imagen Motor Otis 14 VTR de 2 Velocidades. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 2: Ficha técnica del motor Otis 14 VTR. Fuente: Manual Otis.

Parámetro	Valor típico / estimado
Tipo de motor	Trifásico de inducción, doble devanado con engranaje
Potencia nominal	30 kW
Tensión nominal	400–480 V AC (compatible con el rango de 380 V AC)
Frecuencia	50 Hz
Corriente nominal	~55–65 A
Velocidades nominales	750 rpm (8 polos), 1500 rpm (4 polos)
Conexión bobinado en baja	Estrella (Y)
Conexión bobinado en alta	Triángulo (Δ)
Factor de potencia ($\cos \varphi$)	~0.85
Clase de aislamiento	F (155 °C)
Grado de protección	IP23
Tipo de rotor	Jaula de ardilla
Tipo de freno	Electromagnético
Tipo de encoder	Incremental
Montaje	Vertical
Peso del motor	~750 kg
Diámetro de polea	700 mm
Velocidad de cabina	1.6 m/s
Relación de reducción	~34:1
Torque en eje del motor	191 Nm a 1500 rpm
Torque en eje de polea	~5,322 Nm (para 1550 kg de masa total)
Rendimiento energético	91–94% (categoría IE2–IE3)

Para este proyecto se utilizará exclusivamente el bobinado de velocidad alta (4 polos, 1500 rpm), conectado en triángulo (Δ).

2.4 Identificación de necesidades técnicas

A partir del análisis del sistema actual, se identifican las siguientes necesidades para una modernización efectiva:

Se necesita incorporar un control de velocidad variable, así incorporar rampas de aceleración y frenado para mejorar el confort de desplazamiento y reducir el desgaste mecánico, se necesita recuperar energía generada, así aprovechar la energía generada durante el descenso mediante un variador regenerativo, reduciendo el consumo total del sistema. Incorporar un monitoreo para visualizar variables críticas como temperatura, ciclos, consumo y estado de componentes mediante HMI, implementar una automatización programable reemplazando la lógica cableada por un PLC que permita secuencias operativas, alarmas, diagnósticos y comunicación industrial, tener compatibilidad estructural, así mantener el motor y la estructura mecánica existente, evitando modificaciones físicas, se necesita mejorar un mantenimiento predictivo así anticipar fallas mediante el análisis de variables operativas, reduciendo paradas inesperadas, crear una Interfaz gráfica para mejorar la experiencia del usuario y del técnico mediante visualización clara y registro de eventos.

Estas necesidades orientan el diseño de una solución que combine eficiencia, seguridad, confort y sostenibilidad, alineada con estándares técnicos y normativos vigentes.

2.5 Análisis del estado actual del sistema

El diagnóstico realizado permitió identificar las principales limitaciones técnicas y operativas del sistema de elevación existente, asociadas a la obsolescencia del control, la ausencia de rampas de aceleración y frenado, la falta de recuperación energética y la inexistencia de monitoreo de variables críticas. Estas condiciones evidencian un funcionamiento poco eficiente, mayor desgaste mecánico y dependencia del mantenimiento correctivo. El análisis del estado actual constituye el punto de partida para definir los requerimientos técnicos de la modernización y orientar el diseño de una solución acorde a las necesidades reales del sistema.

Capítulo 3: Diseño Técnico de la Solución

3.1 Diagnóstico y Requisitos de Modernización

El sistema actual del ascensor presenta diversas limitaciones técnicas que justifican la necesidad de una modernización integral. En primer lugar, el motor Otis 14 VTR de doble velocidad (750/1500 rpm) opera sin control electrónico avanzado, lo que restringe la posibilidad de aplicar rampas de aceleración y frenado, generando movimientos bruscos y mayor desgaste mecánico.

Asimismo, la lógica cableada utilizada en el sistema carece de flexibilidad y no permite la incorporación de monitoreo digital, lo que impide visualizar variables críticas y anticipar fallas operativas. A esto se suma la ausencia de recuperación energética, ya que la energía generada durante el descenso se disipa en resistencias, sin aprovecharse para mejorar la eficiencia global del sistema.

- Motor Otis 14 VTR de doble velocidad (750/1500 rpm) sin control electrónico.



Figura 27: Imagen Control Convencional Ascensor. Fuente: Elaboración Propia.



Figura 28: Imagen Motor Existente Otis 14 VTR. Fuente: Elaboración Propia.

- Lógica cableada sin rampas de aceleración/frenado ni monitoreo digital.



Figura 29: Imagen Cableado del Control Existente. Fuente: Elaboración Propia.

Figura n°3.1.3



Figura 30: Imagen Freno de Motor Otis 14 VTR. Fuente: Elaboración Propia.

- Ausencia de recuperación energética y diagnóstico operativo.



Figura 31: Imagen Gabinete de Resistencia. Fuente: Elaboración Propia.



Figura 32: Imagen Resistencia que absorbe la energía generada por el motor. Fuente: Internet.

Estas condiciones evidencian la necesidad de una solución que incorpore tecnologías modernas de automatización. Para superar dichas limitaciones, se requiere la implementación de un variador de frecuencia regenerativo, compatible con 400 V AC y una potencia mínima de 30 kW, capaz de ofrecer control vectorial con rampas programables y frenado regenerativo. La propuesta debe integrarse con un PLC y una HMI mediante comunicación industrial PROFINET, asegurando una operación confiable y sincronizada. Finalmente, el sistema debe cumplir con las normativas internacionales IEC 61800-3 (compatibilidad electromagnética) y IEC 61800-5-1 (seguridad eléctrica), garantizando un diseño seguro, eficiente y alineado con los estándares de automatización industrial vigentes.

3.2 Selección e Integración de Equipos

Con el propósito de cumplir los objetivos de eficiencia energética y recuperación activa de energía, se selecciona una arquitectura regenerativa real basada en el sistema modular SINAMICS G120 de Siemens. Esta configuración permite devolver la energía generada durante los ciclos de frenado y descenso directamente a la red eléctrica, optimizando el rendimiento global del ascensor y reduciendo significativamente el consumo energético.

El variador de frecuencia elegido corresponde al Siemens SINAMICS G120 con Active Line Module + PM250-2 (37 kW), el cual ofrece una solución robusta y confiable para aplicaciones de transporte vertical. Su diseño modular facilita la integración con el motor Otis existente y asegura compatibilidad plena con el entorno de automatización Siemens, permitiendo además una comunicación industrial eficiente mediante PROFINET. Esta selección garantiza no solo la mejora en la eficiencia operativa del sistema, sino también la alineación con los estándares internacionales de sostenibilidad y seguridad en automatización.



Figura 33: Imagen Variador de Frecuencia Siemens Sinamics G120. Fuente: Manual Siemens.

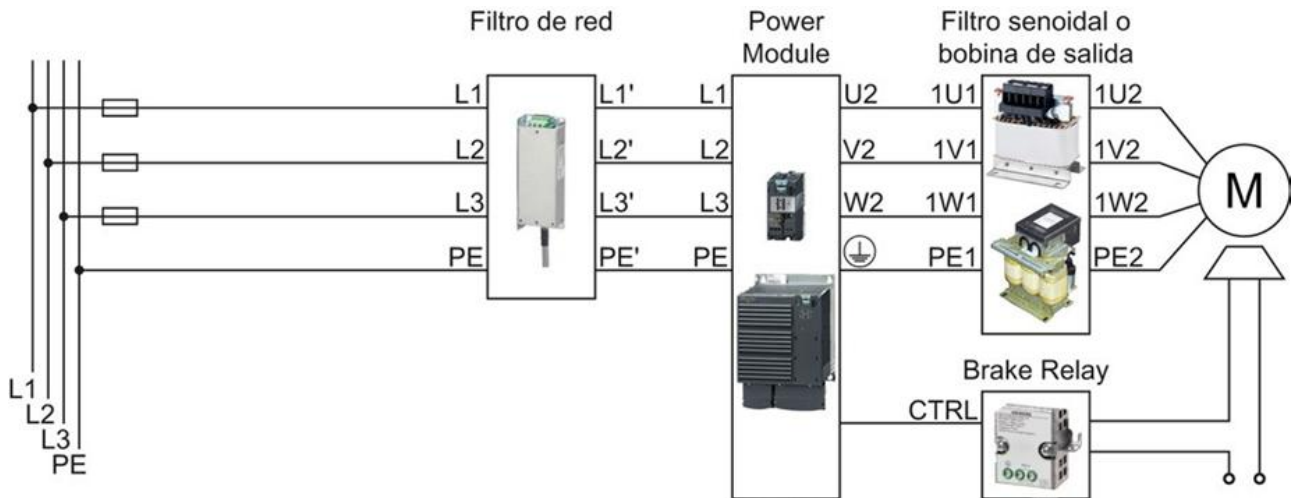


Figura 34: Imagen Conexión de Potencia Modulo PM 250. Fuente: Manual Siemens.

Componentes principales del sistema SINAMICS G120:

Tabla 3: Componentes Principales del Sistema Sinamics G120. Fuente: Manual Siemens.

Componente	Significado	Función
SINAMICS G120	Familia de variadores modulares de Siemens	Plataforma que permite combinar módulos según la aplicación
Active Line Module (ALM)	Módulo de línea regenerativo	Convierte la energía generada por el motor en energía útil que se devuelve a la red eléctrica
PM250-2	Módulo de potencia regenerativo	Controla el motor y permite frenado regenerativo (en lugar de disipar energía en resistencias)
37 kW	Potencia nominal del sistema	Capacidad para controlar motores de hasta 37 kW (ideal para el motor de 30 kW)

Funciones específicas de los módulos Variador SINAMICS G120:

Tabla 4: Funciones específicas de los Módulos Variador Sinamics G120. Fuente: Manual Siemens.

Componente	Modelo	Función
Módulo de línea	Active Line Module (ALM) – 6SL3130-6TE23-6AA3	Convierte energía regenerada en energía útil para la red
Módulo de potencia	PM250-2 – 6SL3210-1PE31-3UL0	Controla el motor y permite frenado regenerativo
Unidad de control	CU250S-2 PN – 6SL3244-0BB13-1FA1	Ejecuta lógica, comunicación PROFINET y control vectorial
Filtro de línea	Line Filter – 6SL3000-0CE25-5AA0	Mejora calidad de energía y reduce armónicos

Características Técnicas Sinamics G120 ALM + PM250-2 (37 kW)

La arquitectura del variador SINAMICS G120 se basa en un diseño modular que integra el Active Line Module (ALM), un módulo de alimentación bidireccional que permite la regeneración activa de energía; el PM250-2, un módulo de potencia regenerativo especialmente diseñado para aplicaciones con frenado frecuente; y la unidad de control CU250S-2 PN, que incorpora comunicación industrial mediante PROFINET y funciones avanzadas de seguridad.

En cuanto a sus especificaciones eléctricas, el sistema ofrece una potencia nominal de 37 kW (50 HP), con una tensión de entrada de 3AC 380 a 480 V $\pm 10\%$ y una frecuencia de 47 a 63 Hz. La corriente nominal alcanza hasta 80 A, dependiendo de la configuración, y la frecuencia de salida puede variar entre 0 y 550 Hz, lo que asegura un control flexible y preciso del motor.

El variador soporta condiciones de sobrecarga de hasta 150 % durante 60 segundos en modo Heavy Duty (HD) y hasta 200 % durante 3 segundos en aplicaciones de alta exigencia, garantizando robustez en operaciones críticas. Su capacidad de regeneración activa hacia la red eléctrica, sin necesidad de resistencias de frenado, permite un ahorro energético significativo en sistemas con ciclos de frenado frecuentes, como ascensores, grúas y transportadores.

En términos de control y comunicación, el equipo admite modos de control escalar y vectorial, tanto en lazo abierto como cerrado mediante encoder. La interfaz de comunicación incluye PROFINET, Modbus RTU y USS, mientras que la configuración se realiza a través de TIA Portal o STARTER, asegurando integración nativa con el ecosistema Siemens.

Las funciones de seguridad incorporan STO (Safe Torque Off), cumpliendo con las normativas internacionales IEC 61800-3 (compatibilidad electromagnética) y IEC 61800-5-1 (seguridad eléctrica). El grado de protección es IP20, adecuado para montaje en gabinete. En cuanto a condiciones ambientales, el variador opera en un rango de $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ sin reducción de potencia, y hasta una altitud de 1000 m s.n.m. sin pérdida de rendimiento.

Sus aplicaciones típicas incluyen ascensores comerciales e industriales, sistemas de izaje, transportadores con inversión de marcha y bancos de prueba con ciclos dinámicos. La justificación técnica de su selección radica en que esta arquitectura asegura una recuperación energética real, mantiene compatibilidad directa con el motor Otis de 30 kW y cumple con los estándares de eficiencia energética establecidos por la norma ISO 25745-2.

3.3 Arquitectura de Automatización

La solución propuesta contempla la conexión directa del variador al motor en el bobinado de alta velocidad (1500 rpm), estableciendo una comunicación industrial entre variador, PLC y HMI mediante PROFINET. Esta integración permite la visualización en tiempo real de variables críticas como temperatura, ciclos de operación, consumo energético y alarmas, además de registrar eventos históricos que fortalecen las estrategias de mantenimiento predictivo.

En la configuración funcional dentro de TIA Portal, se definen parámetros operativos que incluyen una rampa de aceleración de 2 segundos, una rampa de frenado de 3 segundos, una frecuencia máxima de 50 Hz, un torque límite al 100 % y la activación permanente del modo regenerativo, asegurando un control eficiente, seguro y energéticamente optimizado.

3.4 Comparación de Alternativas

Tabla 5: Comparación de alternativas de variadores. Fuente: Elaboración Propia.

Modelo	¿Es regenerativo?	Compatibilidad con motor Otis	Integración con PLC Siemens	Software	Alta (400 V, 30 kW, 1500 rpm)
Siemens G120 (ALM + PM250-2)	✓ Sí	Alta (400 V, 30 kW, 1500 rpm)	PROFINET nativo	TIA Portal / STARTER	Arquitectura modular regenerativa real. Recomendado.
Siemens G120 PM240-2	✗ No	Alta	PROFINET nativo	TIA Portal / STARTER	Solo frenado resistivo. No recupera energía.
ABB ACS880	✓ Sí	Media (requiere ajuste de parámetros)	Requiere adaptador PROFINET	Drive Composer	Potente, pero menor integración con Siemens.
Mitsubishi FR-F800	✗ No	Alta	Modbus / CC-Link	FR Configurator	No permite regeneración Buen rendimiento general.
OTIS REGEN OVFR03B-403	✓ Sí	Alta (ecosistema Otis)	No estándar	Software propietario	Regenerativo, pero cerrado a integración externa.

3.5 Criterios Técnicos para la Selección del Variador

La selección del variador de frecuencia regenerativo se sustenta en criterios técnicos que responden directamente a los requerimientos del sistema de elevación, a las condiciones operativas específicas del motor Otis 14 VTR y al cumplimiento de las normativas internacionales vigentes en automatización industrial. La decisión considera aspectos como la capacidad de recuperación energética real durante los ciclos de frenado y descenso, la compatibilidad eléctrica y funcional con el motor existente, la integración nativa con controladores programables (PLC) mediante protocolos industriales estandarizados como PROFINET, y la conformidad con estándares de seguridad eléctrica y eficiencia energética.

De esta manera, el variador seleccionado asegura un desempeño confiable y eficiente en la operación del ascensor, además de proporcionar una arquitectura escalable que permite futuras expansiones y adaptaciones tecnológicas. Asimismo, la disponibilidad de soporte técnico local y su alineación con criterios de sostenibilidad y eficiencia energética refuerzan la viabilidad técnica y económica de la solución propuesta.

Tabla 6: Criterios Técnicos para la selección del variador. Fuente: Elaboración Propia.

Criterio Técnico	Requisito del Sistema	Cumplimiento con SINAMICS G120 ALM + PM250-2
Tensión de alimentación	400 V AC trifásica	✓ Compatible con rango 380–480 V AC
Potencia nominal	Igual o superior a 30 kW	✓ 37 kW disponible, con margen de seguridad
Control vectorial	Precisión en velocidad y torque	✓ Control vectorial con opción de encoder
Regeneración energética	Recuperación durante descenso y frenado	✓ Active Line Module permite recuperación activa
Compatibilidad con motor Otis	Bobinado de alta velocidad (1500 rpm)	✓ Conexión directa en triángulo (Δ)
Comunicación industrial	PROFINET para integración con PLC Siemens	✓ PROFINET nativo en CU250S-2 PN
Software de configuración	Integración con entorno TIA Portal	✓ Compatible con STARTER y TIA Portal

3.6 Justificación técnica

La evaluación técnica realizada demuestra que la opción más adecuada para la modernización del sistema de control del ascensor corresponde al variador Siemens SINAMICS G120 con Active Line Module, PM250-2 y CU250S-2 PN. Esta configuración garantiza una recuperación energética real, una integración nativa con el PLC Siemens S7-1200 y una compatibilidad directa con el motor Otis existente, lo que asegura eficiencia, confiabilidad y sostenibilidad en la operación.

Si bien se analizaron otras alternativas, estas presentan limitaciones en aspectos de integración, apertura tecnológica o eficiencia energética, lo que restringe su aplicabilidad en un proyecto que busca cumplir con estándares internacionales y ofrecer una solución escalable. En consecuencia, la propuesta seleccionada no solo responde a las necesidades actuales de optimización y monitoreo, sino que también se proyecta como una plataforma sólida para futuras expansiones y mejoras en el sistema de transporte vertical.

3.7 Conclusiones parciales del diseño

El diseño técnico propuesto permite superar las limitaciones identificadas en el diagnóstico, mediante la incorporación de un variador de frecuencia regenerativo, una arquitectura de control basada en PLC y una interfaz de supervisión HMI. La selección de los equipos y la definición de la arquitectura de automatización aseguran compatibilidad con el motor existente, control preciso del movimiento y recuperación activa de energía. Este capítulo establece una solución técnica coherente, robusta y alineada con los estándares de automatización industrial, sirviendo como base para la implementación de las etapas posteriores del proyecto.

Capítulo 4: Selección de PLC y HMI Compatible con variador regenerativo

4.1 Requisitos Funcionales del Sistema de Control

Para garantizar una automatización eficiente y regenerativa del ascensor, el sistema de control debe ser capaz de gestionar de manera integral todo el ciclo de operación. Esto incluye las etapas de arranque, desplazamiento, aproximación, parada, apertura y cierre de puertas, así como la activación del freno electromagnético. La correcta coordinación de estas funciones asegura un desplazamiento seguro, confortable y confiable para los usuarios.

Asimismo, es indispensable establecer una comunicación industrial directa con el variador regenerativo Siemens SINAMICS G120 (ALM + PM250-2) mediante el protocolo PROFINET. Esta comunicación debe garantizar una sincronización precisa y confiable entre el variador y el PLC, permitiendo un control dinámico del motor y la recuperación activa de energía durante los ciclos de frenado y descenso.

El sistema también debe proporcionar una visualización en tiempo real de las variables críticas del ascensor. Entre ellas se incluyen la temperatura del motor, los ciclos de operación, el consumo energético, el estado del freno, la posición de la cabina y las alarmas operativas. Esta información debe estar disponible a través de una interfaz HMI, lo que facilita tanto la supervisión técnica como la interacción del operador con el sistema.

Otro requisito fundamental es la capacidad de registrar eventos operativos y fallas. Este historial constituye una herramienta clave para la implementación de estrategias de mantenimiento predictivo, ya que permite analizar el comportamiento del sistema, anticipar posibles fallas y asegurar la trazabilidad técnica de las intervenciones realizadas.

El sistema debe ser compatible con sensores de posición, velocidad, temperatura y carga, de manera que las decisiones operativas se basen en datos confiables. Esta compatibilidad debe cumplir con la norma IEEE 1451, que regula la interoperabilidad de sensores en sistemas de automatización.

Finalmente, la solución debe dar cumplimiento a los estándares internacionales IEC 60204-1, relacionados con la seguridad eléctrica en máquinas, y a la norma ISO 25745-2, que establece criterios de eficiencia energética en ascensores. Además, la integración nativa en el entorno TIA Portal debe permitir programación estructurada, simulación funcional, diagnóstico remoto y escalabilidad futura, asegurando que el sistema pueda adaptarse a nuevas necesidades y expansiones tecnológicas.

4.2 Equipos Seleccionados

PLC: Siemens S7-1200 CPU 1214C DC/DC/DC



Figura 35: Imagen PLC Siemens S7-1200. Fuente: Internet.

Características clave del PLC Siemens S7-1200

El PLC Siemens S7-1200 se presenta en diversos modelos populares CPU 1211C, 1212C, 1214C y 1215C, cada uno con configuraciones específicas de entradas y salidas digitales y analógicas que permiten adaptarse a distintas aplicaciones. La tensión de alimentación varía según el modelo, pudiendo ser de 24 VDC o 120 a 230 VAC, mientras que las salidas pueden ser de transistor o relé, dependiendo de la versión seleccionada. En cuanto a comunicación, todos los modelos incorporan puertos PROFINET integrados, y algunos permiten expansión mediante módulos adicionales de comunicación, como RS485 o Modbus, lo que amplía su interoperabilidad con otros sistemas.

La programación se realiza en TIA Portal, lo que facilita la integración con HMI, variadores de frecuencia y otros dispositivos Siemens, garantizando un entorno unificado y eficiente. Además, el S7-1200 admite expansiones mediante módulos de señal (SM), módulos de comunicación (CM) y módulos de funcionalidad especial (FM), lo que otorga flexibilidad y escalabilidad al sistema.

Aplicaciones típicas

El S7-1200 se utiliza ampliamente en control de procesos industriales, en la automatización de máquinas y en proyectos educativos y de formación técnica, gracias a su versatilidad, facilidad de programación y compatibilidad con múltiples dispositivos de automatización.

4.3 Justificación técnica PLC

El PLC Siemens S7-1200 fue seleccionado por su compatibilidad directa con el variador SINAMICS G120 y su capacidad para gestionar de forma confiable la lógica secuencial del ascensor. Su desempeño es adecuado para el procesamiento de señales críticas como sensores de piso, freno electromagnético y estados operativos, permitiendo una automatización estable del sistema. Asimismo, su integración en TIA Portal asegura una programación estructurada, diagnósticos eficientes y posibilidades de expansión futura.

4.4 Selección de la HMI: Siemens KTP700 Basic



Figura 36: Imagen HMI KTP 700 Basic. Fuente: Internet

Características destacadas del HMI Siemens KTP700 Basic

El KTP700 Basic se caracteriza por incorporar una pantalla TFT de 7 pulgadas con resolución de 800×480 píxeles y retroiluminación LED, lo que asegura una visualización clara y confiable en distintos entornos operativos. Su interfaz de usuario combina pantalla táctil con ocho teclas de función programables, ofreciendo flexibilidad en la interacción y adaptabilidad a diferentes aplicaciones. La comunicación se establece mediante Puerto Ethernet (PROFINET), lo que permite una integración directa con controladores como el PLC Siemens S7-1200. Dispone de una memoria de aproximadamente 10 MB destinada a proyectos de usuario, suficiente para aplicaciones de monitoreo y control de complejidad media. El equipo está diseñado para montaje en panel y cuenta con un grado de protección frontal IP65, garantizando resistencia frente a polvo y salpicaduras. Su configuración se realiza en TIA Portal (WinCC Basic o superior), lo que asegura compatibilidad con el ecosistema Siemens y facilita la programación y mantenimiento.

Aplicaciones comunes

El KTP700 Basic se utiliza ampliamente en procesos industriales simples, en la visualización de estados de máquinas y en la interacción con PLC tanto en entornos educativos como industriales. Su versatilidad lo convierte en una herramienta adecuada para proyectos de automatización que requieren supervisión básica pero confiable.

4.5 Justificación técnica HMI

El HMI seleccionado dispone de una interfaz gráfica clara y funcional, que permite el monitoreo en tiempo real de las condiciones operativas del sistema. Su compatibilidad con el PLC Siemens S7-1200 garantiza una integración eficiente dentro del ecosistema Siemens, facilitando la visualización de variables críticas como el piso actual, la dirección de desplazamiento, la temperatura del motor, los ciclos de operación y las alarmas activas. Asimismo, el dispositivo permite el registro de eventos históricos, lo que fortalece la implementación de estrategias de mantenimiento predictivo y contribuye a la confiabilidad del sistema de transporte vertical.

4.6 Criterios Técnicos de Selección del PLC Y HMI

Tabla n°4.6.1

Tabla 7: Criterios Técnicos de Selección del PLC Y HMI. Fuente: Elaboración Propia.

Criterio Técnico	Requisito del sistema	Cumplimiento con Siemens S7-1200 + KTP 700
Compatibilidad con Variador	Comunicación vía Profinet.	✓
Capacidad de procesamiento	Lógica secuencial, temporización, alarmas.	✓
Visualización de variables	Estado del sistema, fallas, ciclos y temperatura.	✓
integración en TIA PORTAL	programación y simulación unificada.	✓
Normativa IEC	IEC 61131-3, IEC 61000-6-2/4	✓
Soporte Técnico y o documentación	Manuales, ejemplos, asistencia local	✓
Escalabilidad	Posibilidad de expansión futura	✓

4.7 Comparación de Alternativas de PLC Y HMI

Tabla 8: Comparación de Alternativas de PLC Y HMI. Fuente: Elaboración Propia.

Marca / Modelo	Compatibilidad	Integración con Variador	Software	Visualización	Observación
Siemens S7-1200 + KTP700	Alta	PROFINET nativo	TIA Portal	✓ Completa	Ecosistema unificado, seleccionado
Allen-Bradley Micro850 + PanelView 800	Media	Requiere adaptador EtherNet/IP	CCW	✓ Parcial	Potente, pero menos integrado con Siemens
Schneider M221 + HMISTO5	Media	Modbus TCP / Ethernet	EcoStruxure	✓ Parcial	Buena interfaz, menor compatibilidad directa
Mitsubishi FX5U + GOT2000	Alta	CC-Link / Modbus	GX Works3	✓ Completa	Requiere configuración avanzada
Omron NX1P2 + NB7W-TW01B	Media	EtherCAT / Modbus	Sysmac Studio	✓ Parcial	Precisión alta, integración más compleja

4.8 Justificación Final Selección Variador, PLC Y HMI

La elección del conjunto Siemens S7-1200 junto con la HMI KTP700 Basic se fundamenta en su compatibilidad directa con el variador regenerativo Siemens SINAMICS G120 (Active Line Module + PM250-2 + CU250S-2 PN), lo que asegura una integración confiable y eficiente del sistema. Esta plataforma permite programar, simular y diagnosticar los equipos de manera unificada, sin necesidad de herramientas externas, optimizando así el proceso de desarrollo y mantenimiento. Asimismo, la HMI proporciona una visualización completa de las variables críticas, facilitando el monitoreo en tiempo real y la gestión operativa. El conjunto cumple con las normativas IEC aplicables, garantiza soporte técnico local y está diseñado con una arquitectura escalable y flexible, lo que posibilita futuras expansiones y adaptaciones a nuevas necesidades tecnológicas.

4.9 Análisis técnico de la selección PLC y HMI

El análisis técnico realizado permitió seleccionar un PLC y una HMI que cumplen con los requerimientos funcionales, de comunicación y de escalabilidad del sistema de control del ascensor. La compatibilidad nativa con el variador regenerativo, el uso del protocolo PROFINET y la integración en el entorno TIA Portal garantizan una solución confiable y coherente desde el punto de vista de la automatización industrial. La selección efectuada asegura un adecuado desempeño del sistema, facilitando la programación, el diagnóstico y la supervisión operativa.

Capítulo 5: Programación de la Lógica de Monitoreo en PLC para Visualizar Variables Críticas en HMI

5.1 Diseño de Solución de Monitoreo

El sistema de monitoreo propuesto tiene como finalidad capturar, procesar y visualizar en tiempo real las variables críticas del ascensor, y asegurando un diagnóstico operativo confiable, la implementación de estrategias de mantenimiento predictivo y una supervisión energética eficiente. La arquitectura planteada se fundamenta en la integración de un PLC Siemens S7-1200 (CPU 1214C o superior) con el variador regenerativo SINAMICS G120 (ALM + PM250-2 + CU250S-2 PN) y una HMI Siemens KTP700 Basic, estableciendo la comunicación entre estos dispositivos mediante red PROFINET. Esta configuración permite no solo el control preciso del motor y la recuperación activa de energía, sino también la disponibilidad de información estructurada para la gestión técnica, garantizando un sistema moderno, escalable y alineado con los estándares de eficiencia y seguridad vigentes.

Variables críticas seleccionadas:

Tabla 9: Variables Críticas de Programación. Fuente: Elaboración Propia.

Categoría	Variable	Fuente	Propósito
Motor	Velocidad real (rpm)	Encoder / VFD	Control vectorial y diagnóstico
Motor	Corriente del motor (A)	VFD	Detección de sobrecarga
Motor	Temperatura del motor (°C)	Sensor PTC/NTC	Prevención de fallas térmicas
Energía	Potencia instantánea (kW)	VFD	Evaluación energética
Energía	Energía regenerada (kWh)	ALM	Cálculo de ahorro
Ciclos	Número de arranques	PLC	Mantenimiento predictivo
Seguridad	Estado del freno	PLC	Confirmación de enclavamiento
Operación	Piso actual	Sensores inductivos	Visualización en HMI
Operación	Dirección de movimiento	PLC	Indicadores de estado
Alarmas	Fallas del variador	VFD	Diagnóstico rápido

Estructura lógica del monitoreo

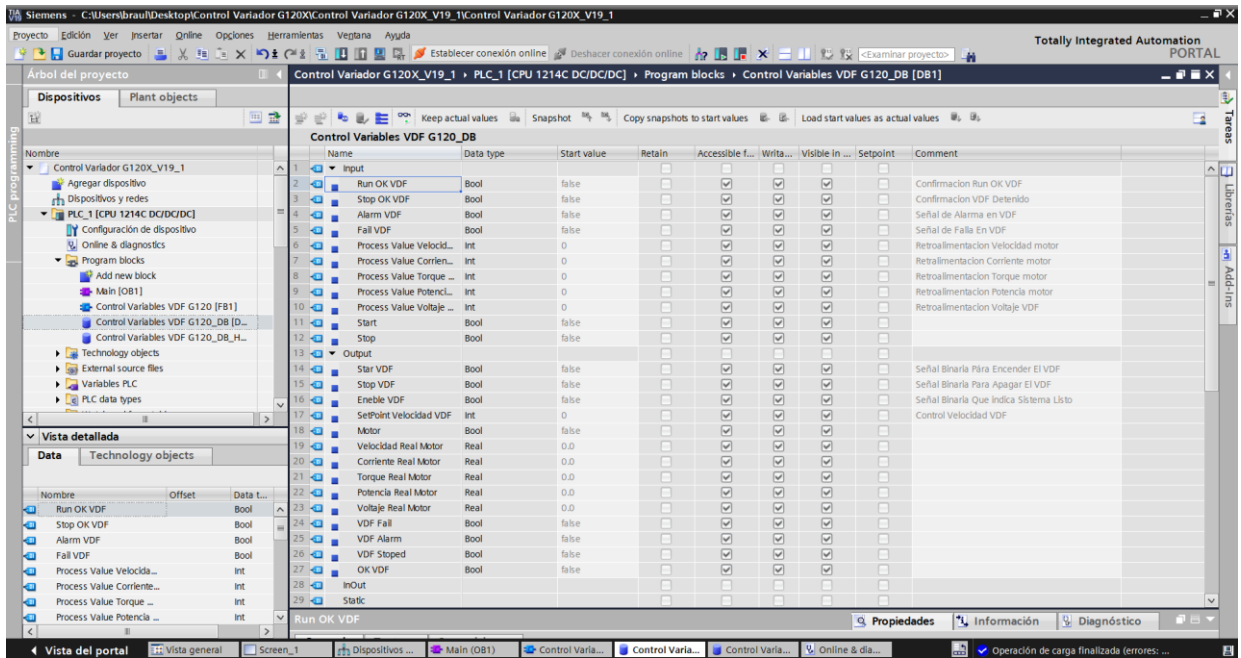


Figura 37: Imagen Variables de variador en Tía Portal. Fuente: Elaboración Propia.

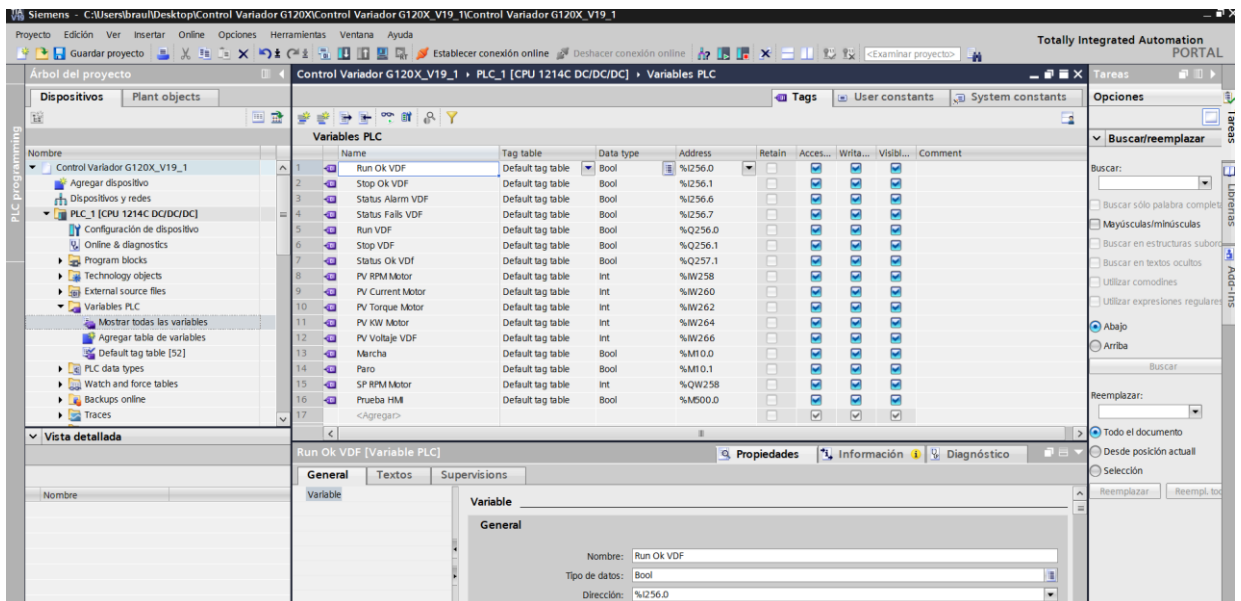


Figura 38: Imagen de Tags Variador de Frecuencia en Tía Portal. Fuente: Elaboración Propia.

5.1.1 Organización de la solución en tres capas

La solución propuesta se estructura en tres capas funcionales que permiten una integración ordenada y eficiente del sistema de automatización.

Capa de adquisición:

En esta primera etapa se realiza la captura de datos provenientes del variador a través de la comunicación PROFINET, utilizando telegramas estándar (111 o 102). Además, se incorporan las señales de sensores digitales como los de piso, puertas y freno junto con la lectura analógica de temperatura del motor. Esta capa constituye la base de información necesaria para el control y diagnóstico del sistema.

Capa de procesamiento en PLC:

La segunda capa corresponde al procesamiento de la información dentro del PLC. Aquí se efectúa la normalización de señales, el cálculo de ciclos y tiempos de operación, así como la generación de alarmas y estados lógicos. Asimismo, se realiza la conversión de los datos adquiridos en variables globales (tags) que serán posteriormente utilizadas por la interfaz HMI, garantizando coherencia y disponibilidad de la información para la supervisión.

Capa de visualización en HMI:

Finalmente, la tercera capa se centra en la representación gráfica de la información mediante la HMI. En ella se despliegan pantallas que muestran el estado general del ascensor, las alarmas activas y un historial de eventos. Esta capa facilita la interacción entre el sistema y el operador, permitiendo un monitoreo claro, oportuno y confiable de las condiciones operativas.

5.2 Procedimientos Técnicos

5.2.1 Configuración de comunicación PLC–Variador

La configuración de comunicación entre el PLC y el variador SINAMICS G120 se realiza utilizando el software STARTER o TIA Portal. En primer lugar, se debe parametrizar el variador seleccionando el telegrama adecuado, ya sea el 111, que permite transmitir velocidad, torque y corriente, o el 102, que corresponde a una configuración básica.

Posteriormente, se asigna una dirección PROFINET al variador para establecer la comunicación con el PLC. En el entorno de TIA Portal, se incorpora el variador al proyecto mediante la importación del archivo GSDML correspondiente, lo que habilita la integración del dispositivo dentro de la red de automatización. Finalmente, los datos de entrada y salida definidos en el telegrama seleccionado se mapean a las etiquetas (tags) del PLC, permitiendo que las variables críticas del sistema sean gestionadas y monitoreadas de manera eficiente.

Ejemplo de mapeos:

Tabla 10: Ejemplos de mapeos. Fuente: Elaboración Propia.

Tag PLC	Dirección	Descripción
Motor_Speed	IW64	Velocidad real (rpm)
Motor_Current	IW66	Corriente (A)
Motor_Torque	IW68	Torque (%)
Drive Status	IW70	Estado del variador

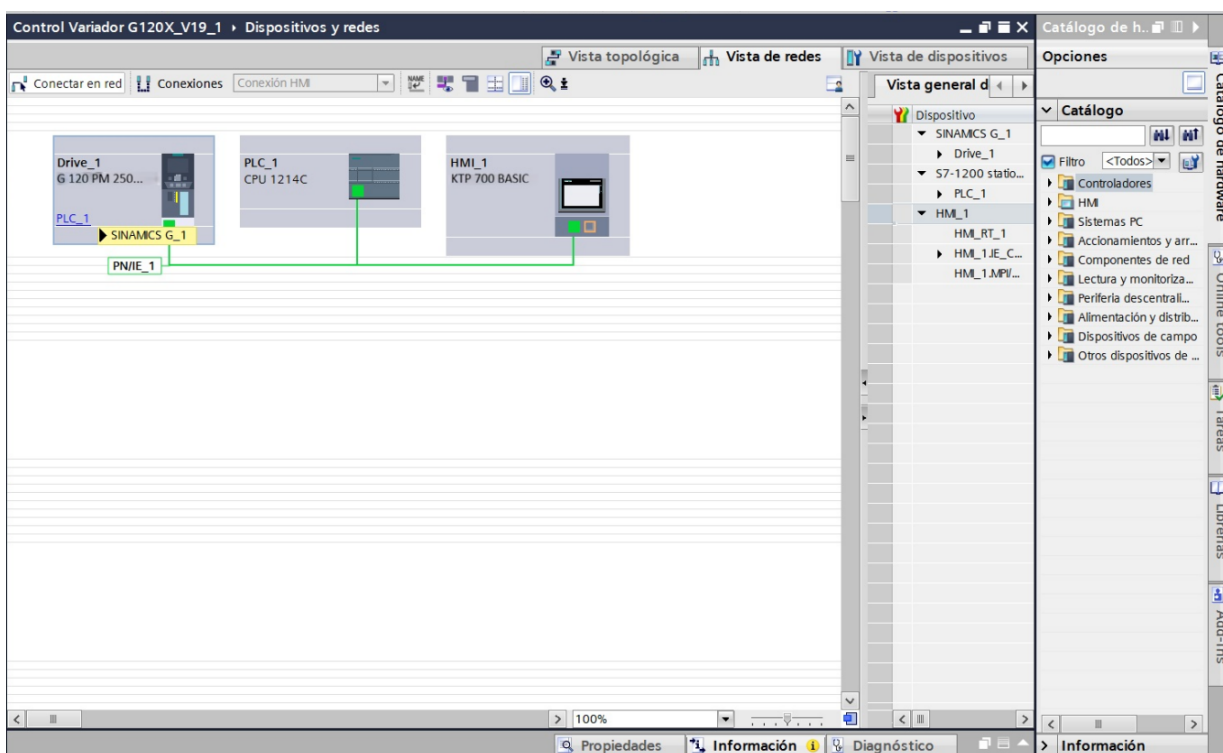


Figura 39: Imagen de Comunicación entre Drive, PLC y HMI en Tía Portal. Fuente: Elaboración Propia

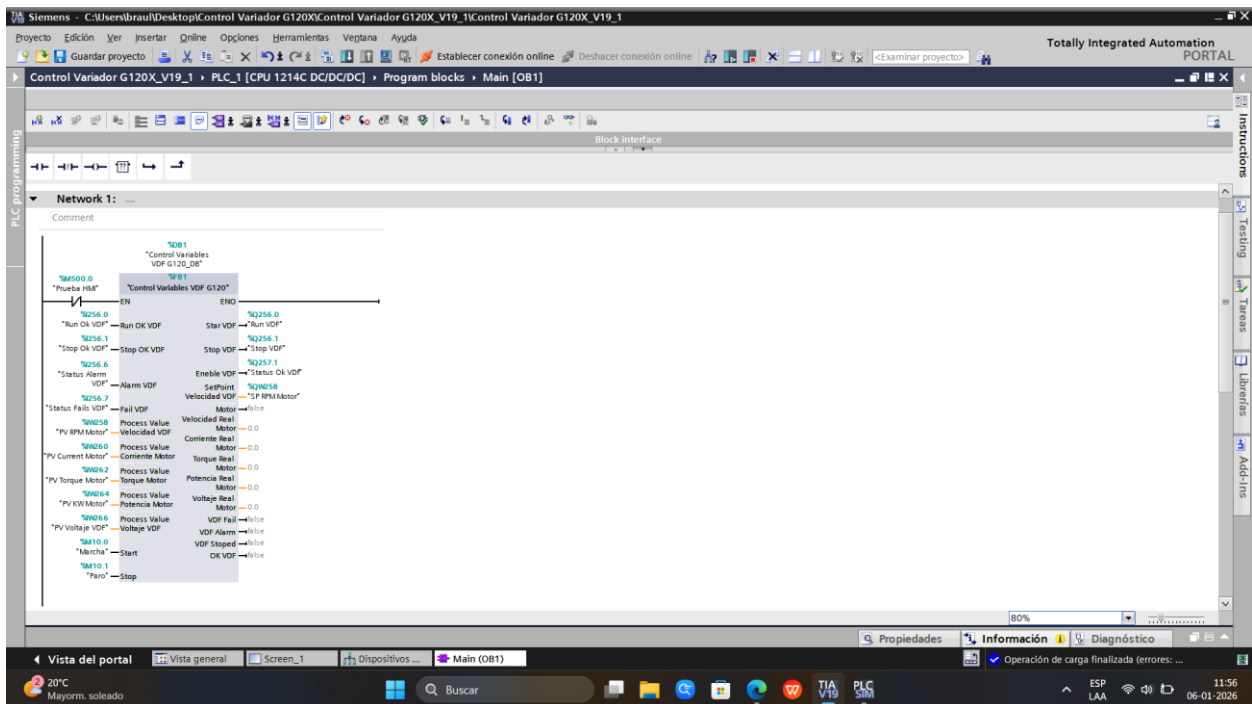


Figura 40: Imagen Programa de Bloque de variador en Tía Portal. Fuente: Elaboración Propia

5.2.2 Lógica de procesamiento en PLC

La lógica de control se estructura en bloques funcionales (FB) con el fin de garantizar modularidad y claridad en la programación. En particular, el FB1 – Monitoreo de Motor concentra las funciones esenciales para la supervisión y diagnóstico del sistema. Este bloque contempla la conversión de la velocidad a metros por segundo cuando es requerido, la detección de condiciones de sobre corriente y el cálculo de la potencia eléctrica mediante la expresión $P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos \varphi$. Además, registra el número de arranques a través de un contador, almacena el tiempo acumulado de operación y activa alarmas cuando se alcanzan los ciclos máximos definidos.

El bloque también determina la dirección de desplazamiento de la cabina (UP/DOWN), supervisa el estado del freno (ON/OFF) y de las puertas (OPEN/CLOSED), e identifica el piso actual mediante una matriz de sensores. Asimismo, gestiona la recepción de alarmas provenientes del variador a través de telegramas de comunicación, junto con las alarmas de temperatura, freno y comunicación general. De esta manera, el FB1 asegura un monitoreo integral del motor y de las condiciones operativas, aportando información crítica para la seguridad, el mantenimiento predictivo y la eficiencia del sistema de control del ascensor.

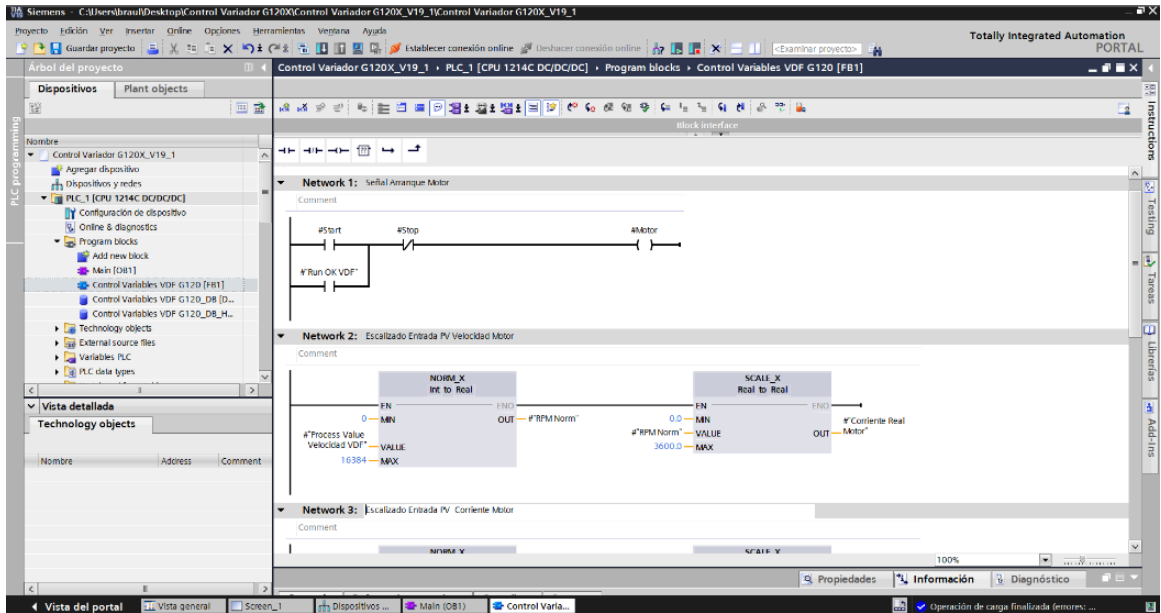


Figura 41: Imagen Programación en FB de arranque y Velocidad del Motor. Fuente: Elaboración Propia.

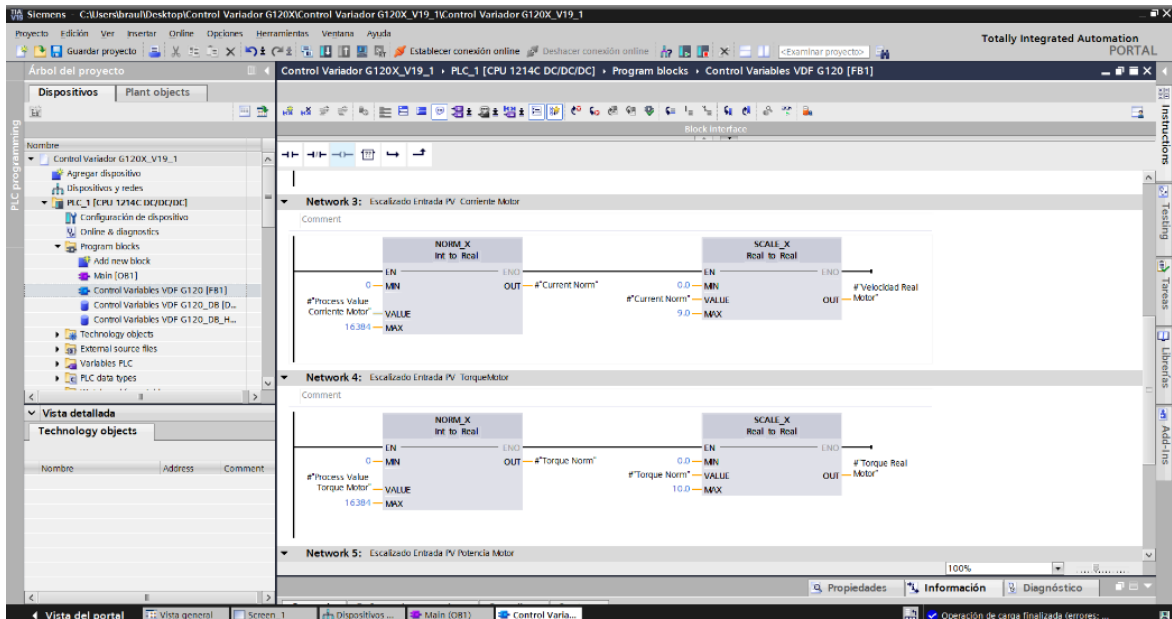


Figura 42: Imagen Programación en FB de Corriente de Motor y Torque de Motor. Fuente: Elaboración Propia.

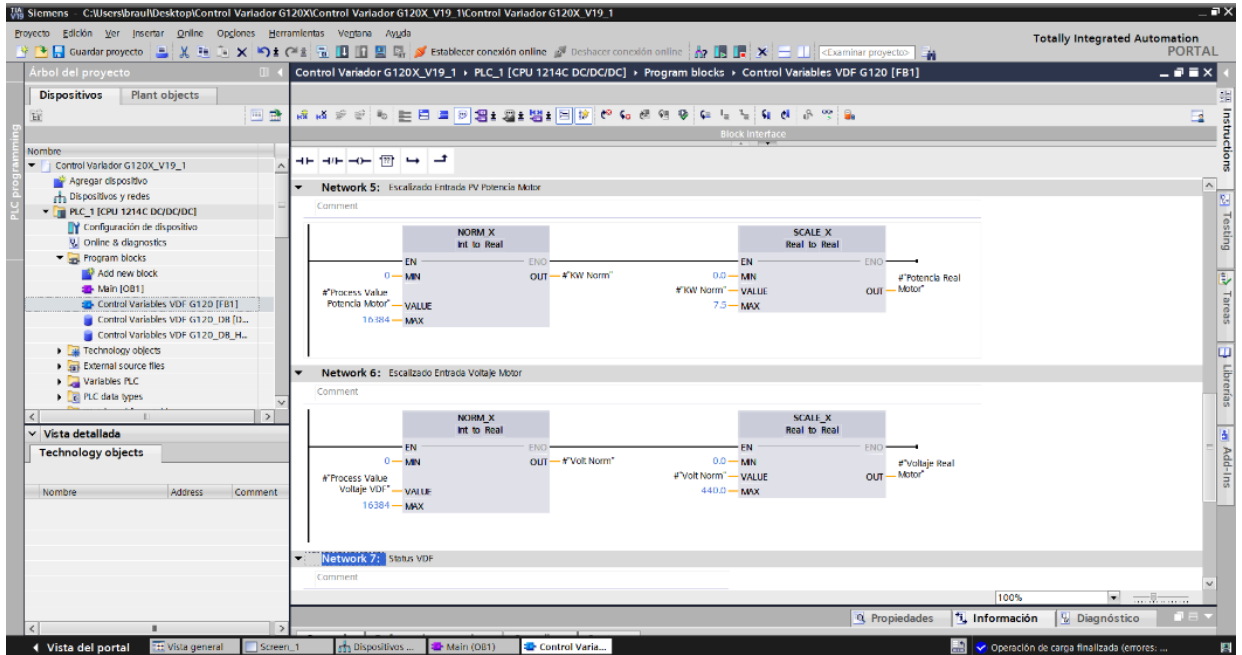


Figura 43: Imagen Programación en FB de Potencia de Motor y Entrada Voltaje de Motor. Fuente: Elaboración Propia.

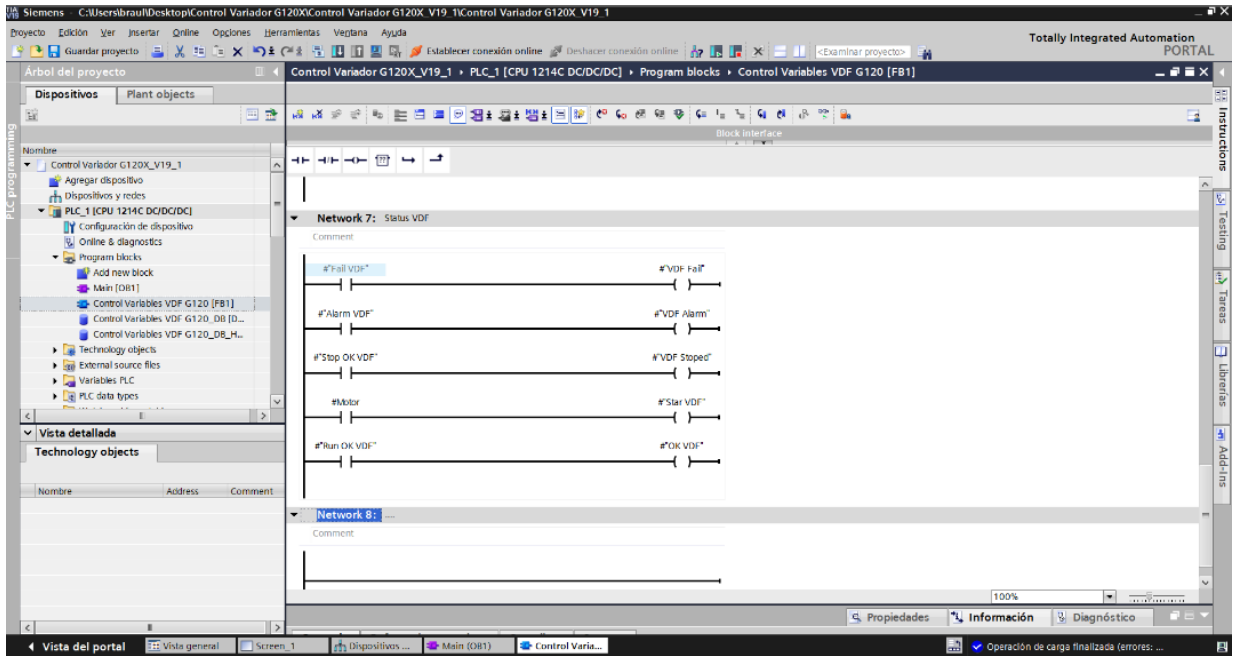


Figura 44: Imagen Programación en FB de Estado Variador de Frecuencia. Fuente: Elaboración Propia.

5.2.3 Diseño de pantallas HMI

El diseño de las pantallas HMI se organiza en cinco vistas principales que permiten una interacción clara y eficiente con el sistema de control del ascensor. La primera corresponde al **Estado General**, donde se visualizan el piso actual, la dirección de desplazamiento, la velocidad de la cabina, el estado de las puertas y del freno, además de un indicador de fallas que alerta al operador en tiempo real.

La segunda pantalla está dedicada a las **Variables del Motor**, mostrando un gráfico de tendencia de la velocidad junto con valores de corriente, torque, temperatura y potencia instantánea. Esta información facilita el análisis dinámico del comportamiento del motor y permite detectar condiciones anómalas de operación.

La tercera pantalla corresponde al apartado de **Energía**, en el cual se registran la energía consumida y la energía regenerada, expresadas en kilowatt-hora, además de un cálculo del ahorro estimado en porcentaje. Estos datos son fundamentales para evaluar la eficiencia energética del sistema y justificar la incorporación de un variador regenerativo.

La cuarta pantalla está destinada a la gestión de **Alarmas**, mostrando las alarmas activas y un histórico con fecha y hora, acompañado de una descripción técnica que facilita el diagnóstico y la trazabilidad de los eventos. Finalmente, la quinta pantalla corresponde al módulo de **Mantenimiento**, donde se registran los ciclos acumulados y las horas de operación, información clave para la planificación de mantenimiento preventivo y predictivo.

5.3 Síntesis del Capítulo

La programación del monitoreo en PLC permite transformar el ascensor en un sistema automatizado capaz de anticipar posibles fallas antes de que ocurran, optimizar el consumo energético, registrar los ciclos de operación y visualizar en tiempo real el comportamiento del motor. Asimismo, facilita la implementación de estrategias de mantenimiento predictivo y mejora la seguridad operativa. En conjunto, este capítulo establece la base técnica para una operación moderna, eficiente y plenamente alineada con los estándares internacionales de automatización y eficiencia energética.

Capítulo 6: Diseño de la Interfaz HMI para Alertas y Seguimiento de Condiciones Operativas

6.1 Objetivo del Diseño de la Interfaz HMI

El propósito de la interfaz Hombre-Máquina (HMI) es ofrecer una visualización clara, intuitiva y en tiempo real del estado operativo del ascensor. A través de esta herramienta, se busca garantizar la supervisión continua de variables críticas, lo que permite al operador mantener un control permanente sobre las condiciones de funcionamiento del sistema.

La HMI también cumple un rol fundamental en la detección temprana de fallas y condiciones anómalas, contribuyendo a la seguridad operativa y a la reducción de tiempos de inactividad. Asimismo, incorpora un registro histórico de eventos y alarmas, que facilita la trazabilidad de incidentes y constituye una base sólida para la implementación de estrategias de mantenimiento predictivo.

De esta manera, la interfaz se convierte en un apoyo directo para la gestión técnica del sistema, al proporcionar información confiable y accesible que optimiza la toma de decisiones. La integración de la HMI se realiza mediante el protocolo PROFINET, estableciendo comunicación precisa y segura con el PLC Siemens S7-1200 y el variador regenerativo SINAMICS G120, lo que asegura un flujo de datos robusto y confiable entre los distintos componentes de la arquitectura de automatización.

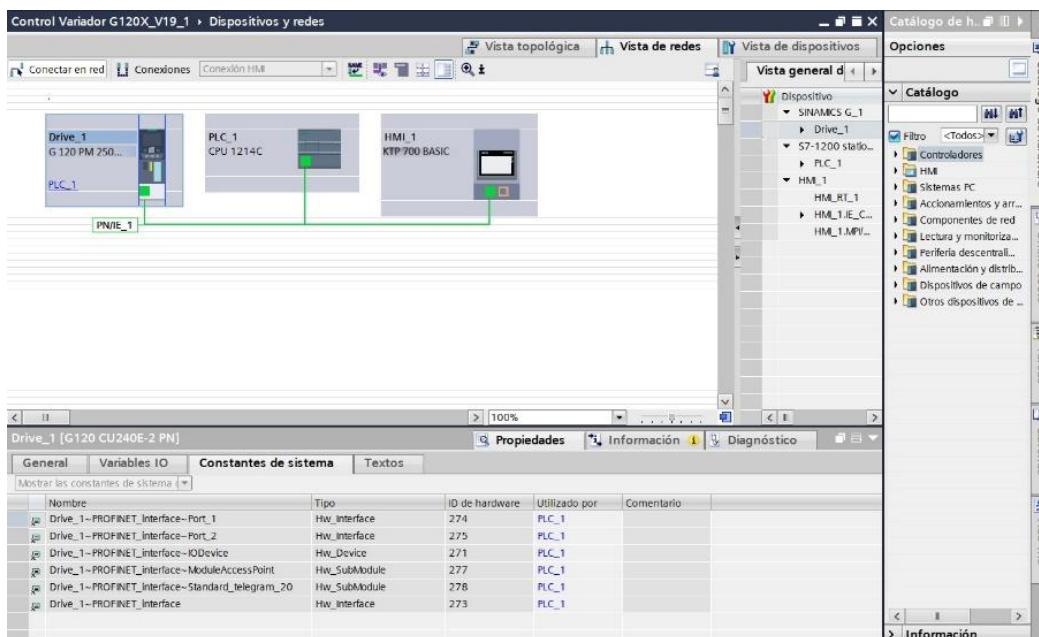


Figura 45: Imagen Comunicación de Drive Y PLC en Tía Portal. Fuente: Elaboración Propia.

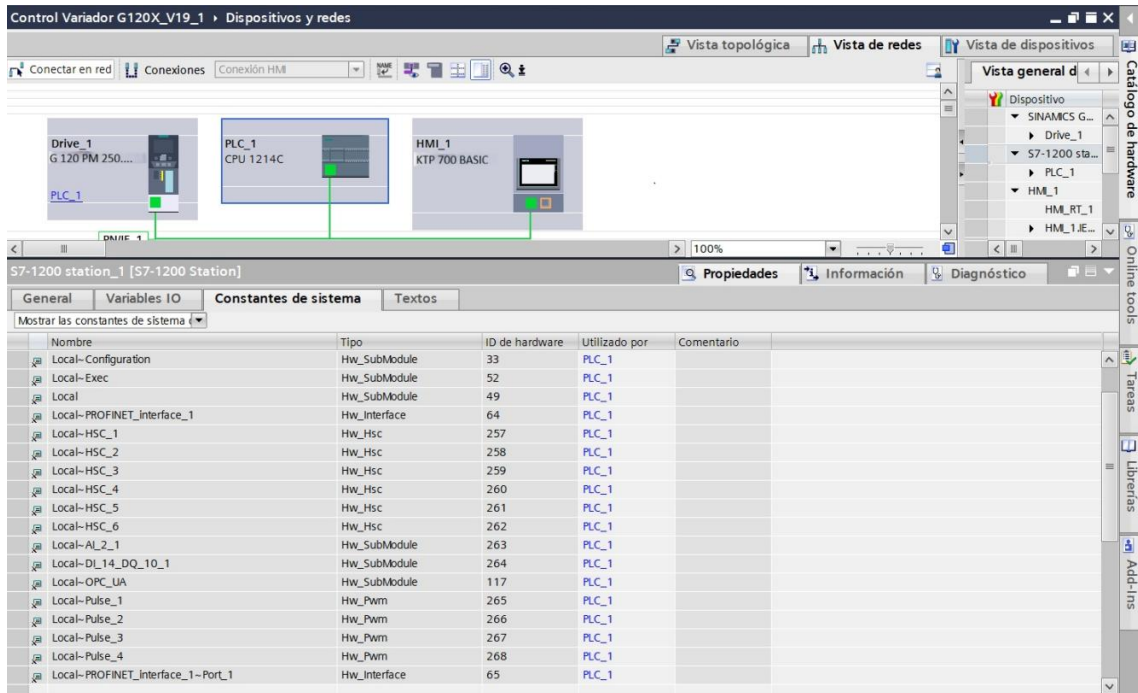


Figura 46: Imagen Comunicación de PLC con HMI Y Variador en Tía Portal. Fuente: Elaboración Propia.

6.2 Principios de Diseño de la Interfaz

El diseño de la HMI se fundamenta en principios que aseguran una operación clara, intuitiva y confiable. En primer lugar, se privilegia la claridad operativa, organizando la información de manera jerárquica para que el operador acceda rápidamente a los datos más relevantes: estado general del ascensor, variables críticas del motor, alarmas activas, información energética y datos de mantenimiento. Asimismo, se establece una navegación simple, estructurada en cinco pantallas principales que permanecen accesibles mediante botones fijos en la barra inferior, lo que facilita la interacción y reduce tiempos de respuesta.

Otro principio clave es la codificación por colores, que permite identificar de forma inmediata el estado del sistema: verde para operación normal, amarillo para advertencias, rojo para alarmas críticas y azul para información energética. Esta lógica visual contribuye a una interpretación rápida y precisa de las condiciones operativas, mejorando la seguridad y la eficiencia en la supervisión.

6.3 Arquitectura de Pantallas HMI

La interfaz se compone de cinco pantallas, cada una diseñada para cumplir un objetivo específico dentro del sistema de monitoreo.

Pantalla 1: Estado General del Ascensor

La Pantalla 1; Estado General del Ascensor tiene como propósito entregar una visión instantánea del funcionamiento del sistema. Entre sus elementos principales se incluyen el indicador del piso actual, las flechas de dirección de movimiento (UP/DOWN), el estado de las puertas (abiertas o cerradas), el estado del freno electromagnético, la velocidad actual expresada en m/s o rpm, y el estado del variador (RUN/STOP/FAULT).

La lógica asociada a esta pantalla se basa en la integración de señales provenientes de distintos dispositivos: los sensores inductivos determinan el piso en el que se encuentra la cabina, el PLC interpreta la dirección de desplazamiento a partir de la velocidad del variador, y el estado del freno se supervisa mediante una entrada digital. De esta manera, la pantalla ofrece una representación confiable y en tiempo real de las condiciones operativas esenciales del ascensor.

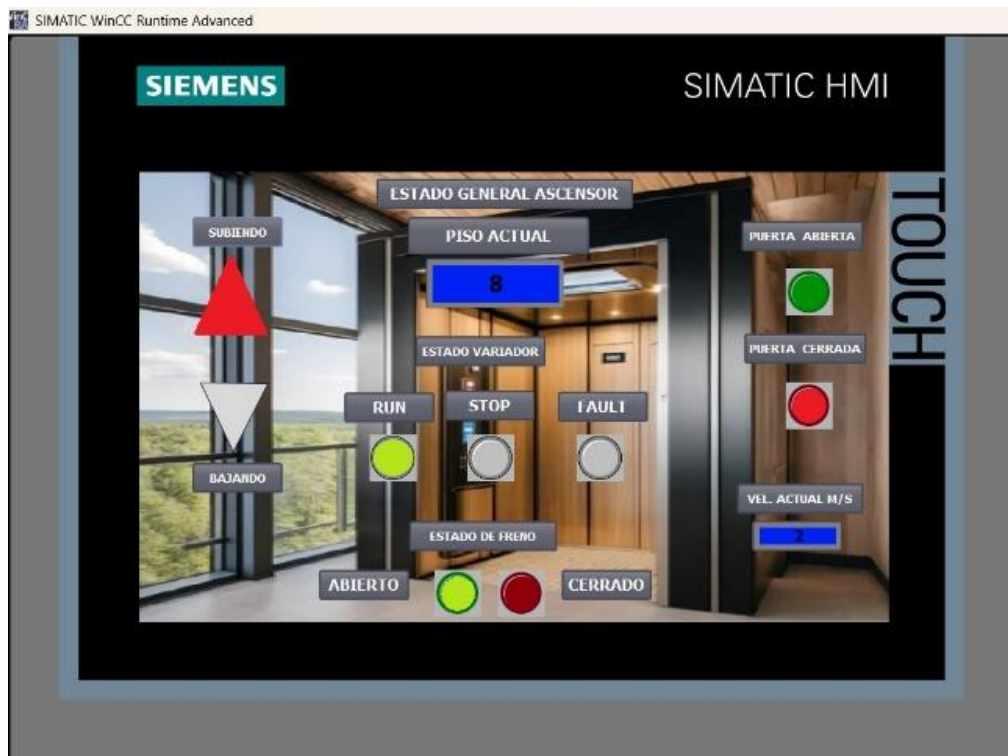


Figura 47: Imagen Pantalla n°1 Estado General del ascensor. Fuente: Elaboración Propia.

Pantalla 2: Monitoreo del Motor y Variador

La Pantalla 2; está destinada al monitoreo del motor y del variador regenerativo, teniendo como objetivo principal la visualización en tiempo real de las variables críticas que determinan el desempeño del sistema. Entre los parámetros mostrados se incluyen la velocidad real del motor (rpm), la corriente de operación (A), el torque expresado en porcentaje, la temperatura del motor (°C) y la potencia instantánea (kW). Asimismo, se incorpora el estado del modo regenerativo, que permite verificar la recuperación activa de energía, junto con la frecuencia de salida del variador (Hz), indicador clave para el control de velocidad y estabilidad del sistema.

El procesamiento de estas variables se realiza en el PLC Siemens S7-1200, el cual interpreta los datos recibidos a través del telegrama PROFINET proveniente del variador. Dichos valores son sometidos a procesos de conversión y normalización, asegurando su correcta representación en la interfaz HMI. Además, el PLC ejecuta la activación de alarmas por umbrales, lo que permite advertir al operador sobre condiciones anómalas como sobre corriente, exceso de temperatura o desviaciones en la potencia, garantizando así la seguridad operativa y el mantenimiento predictivo del sistema.

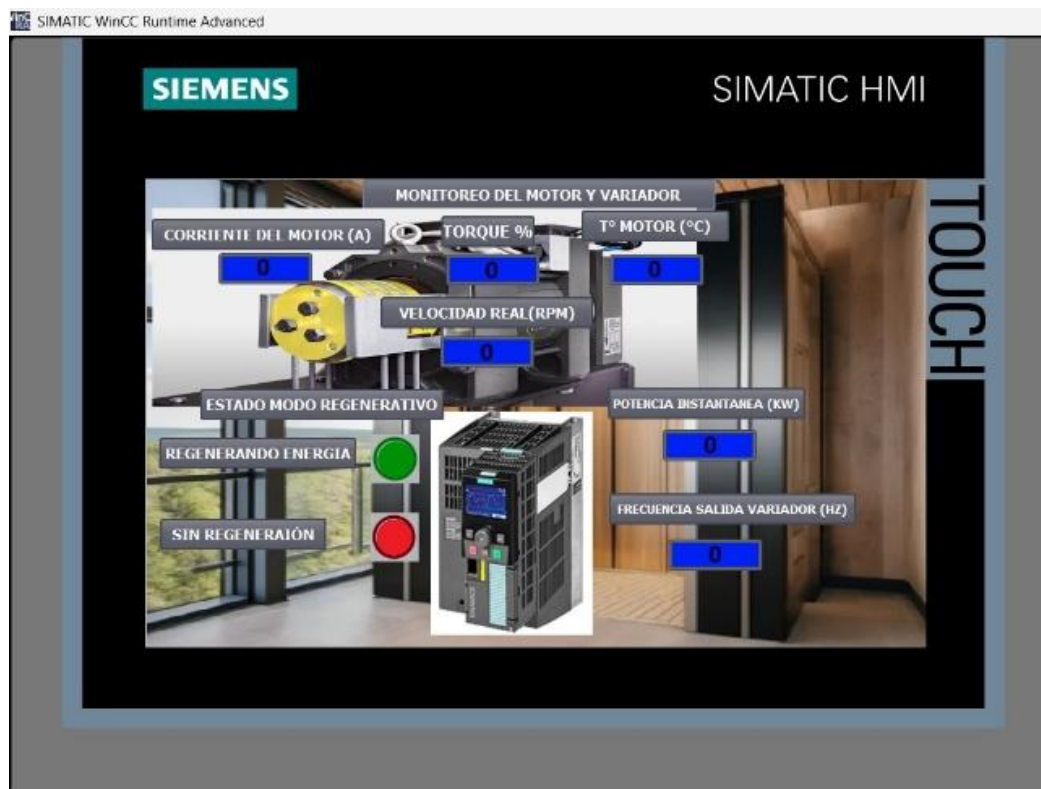


Figura 48: Imagen Pantalla n°2 Monitoreo del Motor y Variador. Fuente: Elaboración Propia

Pantalla 3: Energía y Regeneración

La Pantalla 3; está orientada a la cuantificación del desempeño energético del sistema, permitiendo evaluar en tiempo real la eficiencia lograda con la incorporación del variador regenerativo. En esta vista se muestran variables fundamentales como la energía consumida (kWh), la energía regenerada (kWh), el ahorro energético expresado en porcentaje y la potencia regenerada instantánea, lo que proporciona una visión integral del comportamiento energético del ascensor.

Los cálculos se realizan a partir de los valores acumulados de energía entregados por el variador, mientras que el PLC procesa esta información para determinar el porcentaje de ahorro mediante la relación:

$$\text{Ahorro} = \frac{E_{\text{regen}}}{E_{\text{total}}} \times 100$$

Este enfoque permite no solo monitorear el consumo y la regeneración de energía, sino también justificar técnicamente la modernización del sistema, demostrando la reducción efectiva en el gasto energético y el impacto positivo en la sostenibilidad operativa.



Figura 49: Imagen Pantalla n°3 Energía y Regeneración. Fuente: Elaboración Propia.

Pantalla 4: Alarmas

La Pantalla 4; está diseñada para facilitar un diagnóstico rápido y apoyar la implementación de estrategias de mantenimiento predictivo. Su objetivo principal es proporcionar al operador una visión clara y estructurada de las condiciones anómalas que puedan afectar el funcionamiento del ascensor, reduciendo los tiempos de respuesta y evitando paradas inesperadas.

Entre sus componentes se incluyen una lista de alarmas activas, acompañada de la descripción técnica de cada evento, el código de falla del variador y una recomendación de acción que orienta al personal de mantenimiento en la resolución del problema. Además, la pantalla incorpora un histórico con fecha y hora, lo que permite llevar un registro detallado de las incidencias y facilita la trazabilidad de fallas recurrentes.

Los tipos de alarmas contemplados abarcan situaciones críticas como sobre corriente, sobre temperatura, fallas de comunicación, freno no liberado, puertas no cerradas, errores de encoder y fallas en el modo regenerativo. La gestión centralizada de estas alarmas en la HMI constituye una ventaja significativa, ya que permite reducir los tiempos de diagnóstico, mejorar la seguridad operativa y optimizar la planificación de mantenimiento.

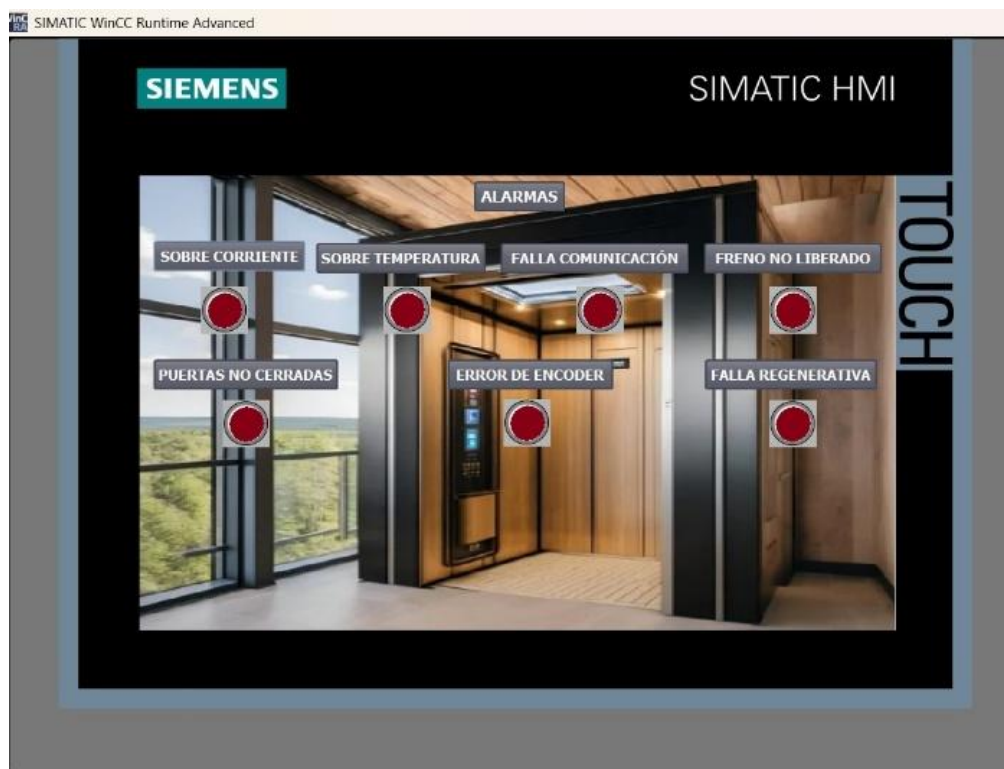


Figura 50: Imagen Pantalla n°4 Alarmas. Fuente: Elaboración Propia

Pantalla 5: Ciclos

La Pantalla 5; está orientada al seguimiento de los ciclos de operación del ascensor, con el objetivo de apoyar la implementación de estrategias de mantenimiento predictivo. Esta vista permite al operador disponer de información clave para evaluar el desgaste de los componentes y anticipar intervenciones antes de que se produzcan fallas.

Entre las variables mostradas se incluyen los ciclos acumulados del ascensor, las horas totales de operación y el número de arranques por día, indicadores que reflejan la intensidad de uso y el comportamiento operativo del sistema. Estos datos constituyen una base sólida para la planificación de inspecciones periódicas y la programación de tareas de mantenimiento preventivo.

La lógica asociada se implementa en el PLC Siemens S7-1200, que incrementa un contador en cada arranque del motor y registra las horas de funcionamiento mediante un temporizador interno. De esta manera, se obtiene un registro confiable y continuo de la actividad del ascensor. El principal beneficio de esta pantalla es que permite planificar intervenciones de mantenimiento antes de que ocurran fallas, optimizando la disponibilidad del sistema y extendiendo su vida útil.

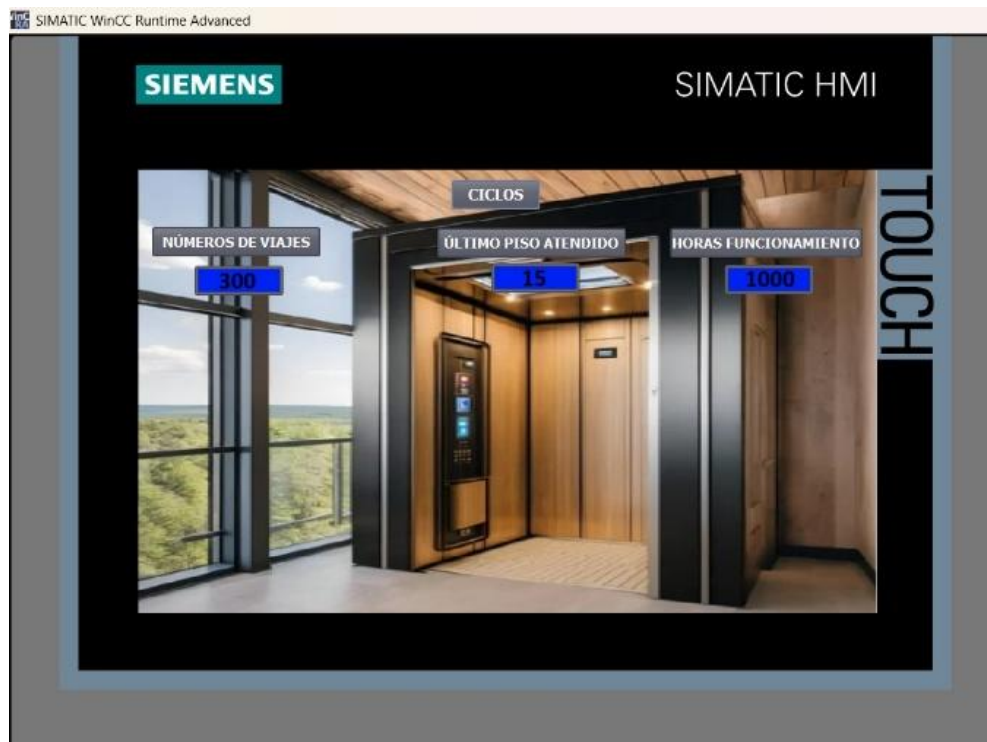


Figura 51: Imagen Pantalla n°5 Ciclos. Fuente: Elaboración Propia.

6.4 de Navegación de la HM Flujo

El flujo de operación de la interfaz HMI está diseñado para que el técnico pueda realizar un proceso de supervisión ordenado y eficiente. En primer lugar, se le permite visualizar el estado general del ascensor, obteniendo una visión inmediata de las condiciones básicas de funcionamiento. A continuación, el sistema facilita la identificación de anomalías, destacando cualquier desviación respecto a los parámetros normales. Una vez detectada la irregularidad, el técnico puede revisar las alarmas activas, accediendo a su descripción técnica y al histórico de eventos para comprender el origen del problema. Finalmente, el flujo concluye con la posibilidad de analizar en detalle las variables operativas, lo que permite confirmar el diagnóstico y tomar decisiones informadas para la corrección o el mantenimiento predictivo.

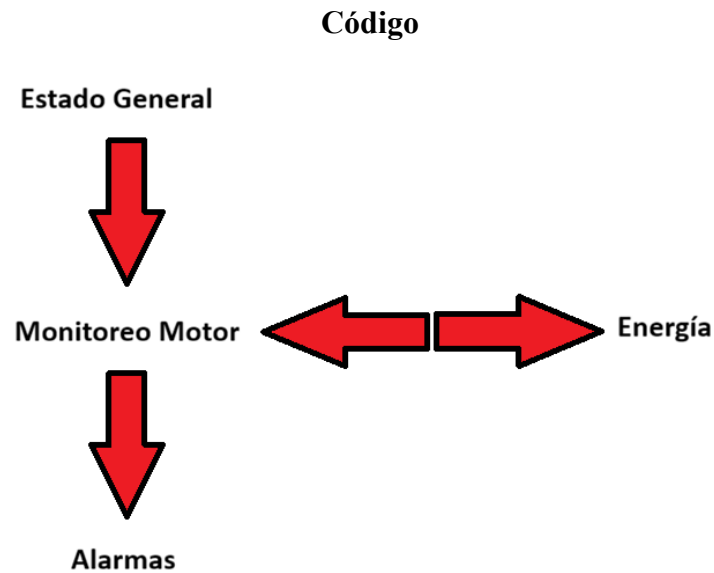


Figura 52: Imagen de Flujo Navegación HMI. Fuente: Elaboración Propia.

6.5 Integración con PLC y Variador

La interfaz HMI se comunica de manera directa con el PLC Siemens S7-1200, utilizando tags globales que permiten supervisar variables esenciales como el piso actual, la dirección de desplazamiento, el estado del freno, las puertas, los ciclos acumulados y las alarmas activas. Paralelamente, se establece comunicación con el variador regenerativo SINAMICS G120, a través de los telegramas estándar 111/102, que entregan información crítica sobre la velocidad, la corriente, el torque, el estado operativo y la energía regenerada. Todo este intercambio de datos se realiza mediante el protocolo PROFINET, con una actualización cíclica de entre 10 y 20 milisegundos, lo que asegura una transmisión confiable y en tiempo real entre los distintos componentes del sistema.

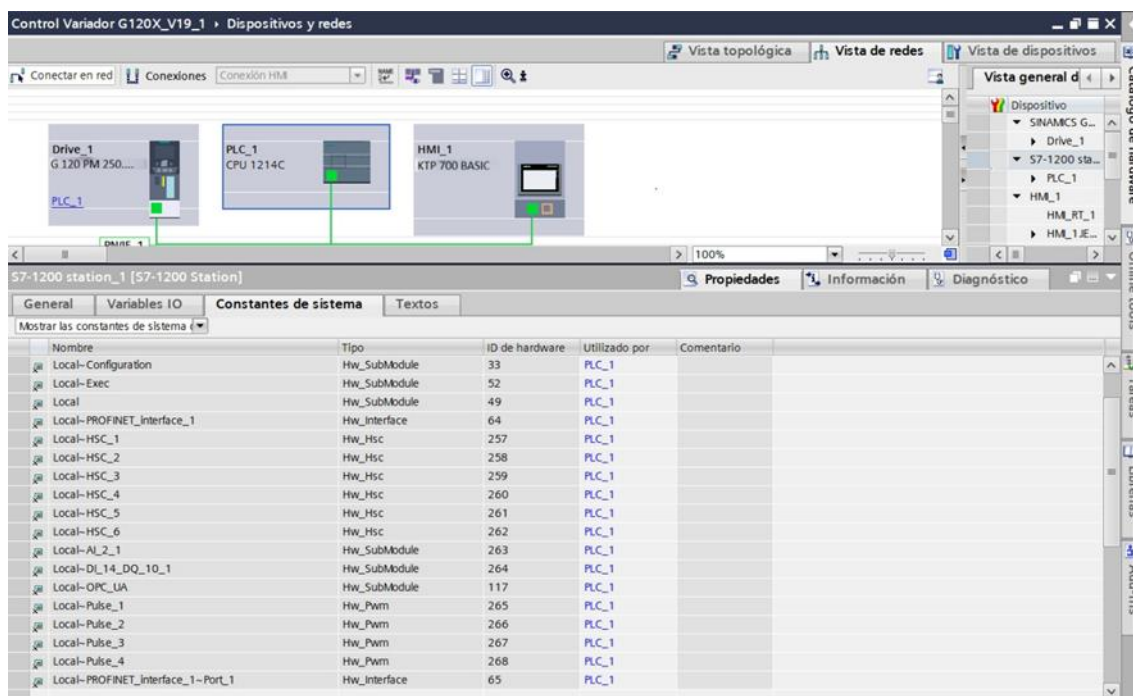


Figura 53: Imagen Comunicación Variador, PLC Y HMI. Fuente: Elaboración Propia.

6.6 Beneficios del Diseño Propuesto

El diseño de la interfaz HMI aporta múltiples beneficios al sistema de control del ascensor. En primer lugar, contribuye a mejorar la seguridad operativa, al permitir una supervisión continua y la detección temprana de condiciones anómalas. Asimismo, reduce los tiempos de diagnóstico, gracias a la visualización clara de alarmas y variables críticas, y habilita la implementación de un mantenimiento predictivo real, basado en registros históricos y análisis de tendencias.

Otro aspecto relevante es que la interfaz facilita la toma de decisiones técnicas, al entregar información precisa y confiable sobre el estado del motor y del variador. Además, proporciona datos energéticos que permiten justificar la inversión en modernización desde una perspectiva de eficiencia y sostenibilidad. En conjunto, estas mejoras se traducen en un aumento de la disponibilidad del ascensor y en una modernización de la experiencia tanto para el técnico como para el usuario, alineando el sistema con los estándares internacionales de automatización y gestión energética.

Capítulo 7: Especificación Técnica de los Equipos Principales

7.1 Variador de Frecuencia Regenerativo Siemens SINAMICS G120 con Active Line Module + PM250-2 (37KW)

Características técnicas destacadas:

Las características técnicas destacadas del variador incluyen una potencia nominal de 37 kW y una tensión de entrada trifásica (3AC) de 380–480 V \pm 10 %, lo que asegura un rango amplio de operación en sistemas industriales. Su frecuencia de salida ajustable entre 0 y 550 Hz permite un control preciso de la velocidad del motor, mientras que la regeneración activa sin necesidad de resistencia de frenado optimiza el aprovechamiento energético. En cuanto a conectividad, dispone de interfaces de comunicación PROFINET, Modbus RTU y USS, garantizando interoperabilidad con distintos sistemas de automatización. El equipo es compatible con los entornos de programación TIA Portal y STARTER, facilitando su configuración y puesta en marcha. Además, cumple con las normas internacionales IEC 61800-3 y IEC 61800-5-1, asegurando conformidad en materia de compatibilidad electromagnética y seguridad eléctrica. Su grado de protección IP20 lo hace adecuado para instalaciones en ambientes controlados, y cuenta con funciones avanzadas de seguridad como la Safe Torque Off (STO) integrada, que incrementa la confiabilidad y protección del sistema.

Tabla 11: Características Técnicas Variador siemens G120. Fuente: Manual Siemens.

Componente	Modelo	Función
Módulo de línea	6SL3130-6TE23-6AA3 (ALM)	Regeneración activa de energía
Módulo de potencia	6SL3210-1PE31-3UL0 (PM250-2)	Control del motor y frenado regenerativo
Unidad de control	6SL3244-0BB13-1FA1 (CU250S-2 PN)	Comunicación PROFINET y lógica de control
Filtro de línea	6SL3000-0CE25-5AA0	Reducción de armónicos y mejora de calidad energética

Conexión de Power Module PM250

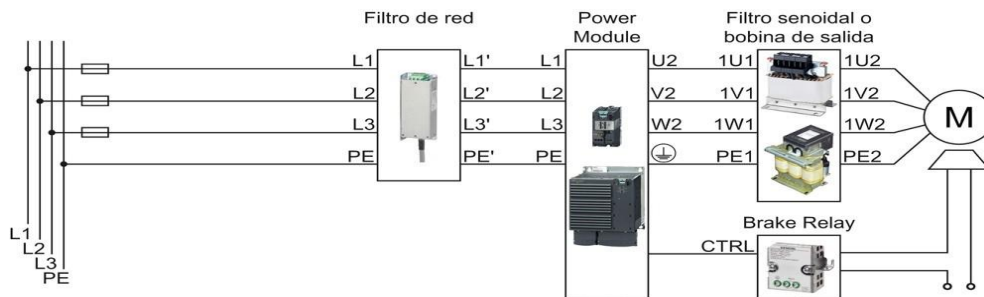


Figura 54: Imagen Diagrama de Potencia Modulo PM 250. Fuente: Manual Siemens

7.1.1 Componentes y flujo de energía

El sistema inicia con la entrada de energía, proveniente de la red eléctrica a través de las tres fases de corriente alterna (L1, L2, L3) y el conductor de protección a tierra (PE). Esta energía es conducida hacia el filtro de red (Line Filter), cuya función es eliminar interferencias electromagnéticas (EMI) y mejorar la calidad de la energía entrante. A la salida del filtro, la energía ya depurada se transmite como L1', L2', L3' y PE' hacia el módulo de potencia.

El módulo de potencia (Power Module), como el PM250-2 de Siemens, convierte la energía alterna en una señal controlada para el motor, entregando las fases U2, V2 y W2 junto con la conexión a tierra PE1. Posteriormente, la señal pasa por el filtro senoidal o bobina de salida, que suaviza la forma de onda generada por el variador para asemejarla a una senoidal pura. Este proceso evita daños en el motor ocasionados por los pulsos PWM y garantiza una operación más estable. La salida del filtro se conecta al motor mediante los terminales 1U1, 1V1 y 1W1, enlazados con 1U2, 1V2 y 1W2, además de la conexión a tierra PE2.

El motor (M) recibe así una energía regulada y filtrada, operando con rampas de aceleración y frenado que mejoran la suavidad del movimiento. En el caso de variadores regenerativos, el motor también puede recuperar energía durante el funcionamiento. Complementariamente, el relé de freno (Brake Relay), controlado por el PLC o el variador, activa o libera el freno electromagnético del motor. Este componente es esencial en sistemas de ascensores, ya que asegura que la cabina permanezca detenida cuando no existe movimiento.

7.1.2 Flujo de regeneración en el diagrama

Durante el descenso de la cabina o el frenado, el motor Otis 14 VTR actúa en modo generador, aprovechando la gravedad y la inercia para producir energía eléctrica trifásica en sus terminales 1U2, 1V2 y 1W2. Esta energía pasa primero por el filtro senoidal, que suaviza la señal y elimina picos y armónicos, protegiendo al variador y mejorando la calidad de la energía procesada.

Posteriormente, la energía ingresa al módulo de potencia (PM250-2), el cual la dirige hacia el Active Line Module (ALM). Este módulo está diseñado para trabajar en ambos sentidos: puede entregar energía al motor o recibirla desde él. Una vez recibida, el ALM convierte la energía generada en una forma adecuada para su retorno a la red eléctrica a través de las líneas L1', L2' y L3'. Antes de ser inyectada nuevamente, la energía pasa por el filtro de red, que asegura el cumplimiento de los estándares de calidad eléctrica al eliminar interferencias.

El resultado de este proceso es un ahorro energético significativo, ya que la energía no se disipa en resistencias de frenado, sino que se recupera y reutiliza dentro del edificio. Este mecanismo representa una reducción del consumo total estimada entre un 20 y 25 % anual, lo que justifica la modernización desde una perspectiva técnica, económica y de sostenibilidad.

7.2 Especificación Técnica PLC Siemens S7-1200

El PLC Siemens S7-1200 es un controlador compacto de gama media diseñado para aplicaciones de automatización industrial que requieren confiabilidad, flexibilidad y comunicación integrada. Sus CPUs incorporan entradas y salidas digitales, memoria de programa entre 50 y 100 KB y una velocidad de procesamiento de 0,08 μ s por instrucción básica, lo que asegura un rendimiento eficiente en procesos de control. Todas las versiones cuentan con PROFINET nativo, permitiendo una integración directa con paneles HMI y variadores de frecuencia, además de diagnóstico y programación desde el entorno TIA Portal. El S7-1200 admite módulos de expansión digitales y analógicos, así como módulos de comunicación adicionales (RS485, RS232, GPRS, WLAN), lo que lo convierte en una solución escalable y adaptable a distintos proyectos. Entre sus funciones tecnológicas destacan el control de movimiento básico, regulación PID integrada, temporizadores y contadores, además de capacidades para regulación de temperatura y nivel. Su diseño compacto, robusto y certificado bajo normas internacionales (IEC, UL, CE) lo posiciona como una opción versátil y confiable para proyectos de automatización, como la modernización de ascensores, donde se requiere un controlador eficiente, seguro y fácilmente integrable con otros dispositivos industriales.

Tabla 12: Características técnicas PLC Siemens S-7 1200. Fuente: Manual Siemens.

Parámetro	Especificación
Modelo	CPU 1214C DC/DC/DC
Entradas digitales	14
Salidas digitales	10
Memoria de programa	100 KB
Comunicación	PROFINET integrada
Software	TIA Portal V15 o superior
Funciones	Temporización, conteo, comparación, diagnóstico, alarmas
Normativa	IEC 61131-3

7.3 Especificación Técnica HMI Siemens KTP700 Basic

Características técnicas destacadas:

El Siemens SIMATIC HMI KTP700 Basic es un panel de operador de gama básica diseñado para aplicaciones industriales que requieren una visualización sencilla y confiable. Cuenta con una pantalla táctil TFT de 7 pulgadas con resolución de 800 × 480 píxeles y capacidad para mostrar hasta 65.536 colores, ofreciendo una interfaz clara y fácil de usar. Dispone de 8 teclas de función configurables, además de teclado numérico en pantalla, lo que facilita la interacción del operador. Su protección frontal IP65 asegura resistencia frente al polvo y salpicaduras, permitiendo su instalación en entornos industriales exigentes. En cuanto a comunicación, integra de forma nativa PROFINET, lo que garantiza una conexión directa y rápida con PLC Siemens S7-1200 y variadores SINAMICS, todo gestionado desde el entorno de programación TIA Portal (WinCC Basic). Entre sus funciones destacan la visualización de alarmas, tendencias y parámetros críticos en tiempo real, así como capacidades de diagnóstico básico. Gracias a su diseño compacto, costo accesible y arquitectura escalable, el KTP700 Basic se posiciona como una solución eficiente para proyectos de automatización y modernización de sistemas de control.

Tabla 13: Características Técnicas HMI KTP 700 Basic. Fuente: Manual Siemens.

Ítem	Especificación General – HMI Siemens KTP700 Basic
Fabricante	Siemens – Línea SIMATIC HMI Basic Panels
Modelo	KTP700 Basic
Tipo de pantalla	TFT color, táctil resistiva, 7 pulgadas
Resolución	800 × 480 píxeles (WVGA)
Iluminación	LED, brillo ajustable
Montaje	Empotrado en gabinete o panel
Procesador	Estándar (uso básico)
Alimentación	24 VDC
Interfaces de comunicación	1 × PROFINET / Ethernet (RJ45)
Software compatible	TIA Portal – WinCC Basic
Funciones soportadas	Alarmas básicas, tendencias simples, navegación entre pantallas, indicadores gráficos estándar
Aplicación recomendada	Sistemas simples de monitoreo y operación en tiempo real

7.4 Especificación Técnica Freno de Motor

Características técnicas destacadas:

El freno de motor en un ascensor es un componente electromagnético de seguridad cuya función principal es inmovilizar el eje del motor cuando no se aplica energía eléctrica, garantizando que la cabina permanezca fija en su posición y evitando desplazamientos involuntarios. Su diseño se basa en un sistema de muelles que mantienen el freno activado por defecto, liberándose únicamente al recibir corriente en la bobina, lo que asegura un comportamiento seguro ante cortes de energía. Entre sus características técnicas más destacadas se encuentran el par de frenado suficiente para detener la cabina bajo cualquier condición de carga, un tiempo de respuesta rápido (generalmente inferior a 200 ms), materiales de fricción resistentes al desgaste que prolongan su vida útil, y compatibilidad con sistemas de control modernos como variadores de frecuencia, que permiten sincronizar la acción del freno con rampas de aceleración y frenado programadas. Gracias a estas propiedades, el freno de motor aporta seguridad, confiabilidad y precisión en la operación del ascensor, siendo un elemento crítico dentro de la normativa y el diseño de sistemas de elevación.

Tabla 14: Características Técnicas Freno de Motor. Fuente: Manual Otis.

Parámetro	Especificación
Tipo	Freno de balatas
Voltaje	110V AC
Activación	Liberación electromagnética por tensión
Función	Inmovilizar cabina en reposo

7.5 Especificación Técnica Motor Otis VTR 14

Características técnicas destacadas:

El motor Otis VTR 14 utilizado en el proyecto de modernización del ascensor es un motor eléctrico trifásico de 30 kW de potencia nominal, diseñado específicamente para aplicaciones de elevación que requieren alta confiabilidad y desempeño continuo. Su construcción robusta le permite operar en condiciones de carga intensiva, con un bobinado de alta velocidad (1500 rpm) que asegura un desplazamiento eficiente de la cabina. La conexión se realiza en configuración triángulo (Δ), garantizando compatibilidad directa con variadores de frecuencia modernos como el Siemens SINAMICS G120, sin necesidad de modificaciones mecánicas. Entre sus características técnicas más destacadas se encuentran su par de devanado, capaz de soportar las exigencias de arranque y frenado en ciclos repetitivos, su durabilidad mecánica, gracias a materiales resistentes al desgaste, y su versatilidad operativa, que permite integrarse con sistemas de control vectorial para mejorar la suavidad de los desplazamientos y reducir esfuerzos en frenos, poleas y cables. Además, el motor está preparado para trabajar con sensores de temperatura y encoder de velocidad, lo que facilita el monitoreo predictivo y la integración con sistemas de automatización. En conjunto, el motor Otis VTR 14 constituye un elemento crítico del sistema de elevación, aportando seguridad, confiabilidad y eficiencia energética al proyecto de modernización

Tabla 15: Características Técnicas Motor Otis VTR14. Fuente: Manual Otis.

Parámetro	Especificación
Tipo de motor	Asíncrono trifásico
Potencia nominal	30 kW
Tensión de trabajo	400 V AC
Frecuencia	50/60 Hz
Velocidad nominal	1500 rpm
Rendimiento	~88 %
Conexión	Estrella / Triángulo
Par nominal	~190 N·m
Protección	IP54
Refrigeración	Ventilación forzada

7.6 Resumen técnico del capítulo

La especificación técnica de los equipos principales permitió documentar de manera detallada las características, capacidades y compatibilidades del variador regenerativo, el PLC, la HMI, el freno de motor y el motor de tracción. Esta información asegura la coherencia entre el diseño del sistema y los requerimientos operativos definidos, facilitando la trazabilidad técnica del proyecto. El capítulo constituye una base documental sólida para futuras etapas de implementación, evaluación o replicación de la solución propuesta.

Capítulo 8: Resultados y Evaluación Técnico y/o Económica

8.1 Resultados Obtenidos

1.Modernización técnica:

La modernización técnica del sistema de control del ascensor se logró mediante la sustitución de la lógica cableada tradicional por una arquitectura renovada basada en un variador regenerativo Siemens SINAMICS G120 (ALM + PM250-2), un PLC S7-1200 para la gestión de la lógica y la comunicación, y una HMI KTP700 destinada a la visualización y diagnóstico. Esta solución permitió mantener la compatibilidad con el motor existente, conectando el variador directamente al bobinado de alta velocidad (1500 rpm) del motor Otis 14 VTR de 30 kW, evitando modificaciones mecánicas. Asimismo, se configuraron rampas programables de aceleración (2 s) y frenado (3 s), lo que generó un desplazamiento más suave y redujo el desgaste mecánico. El sistema también incorporó un monitoreo, en el cual el PLC transmite datos críticos a la HMI, permitiendo visualizar la temperatura del motor, el número de ciclos de operación, el consumo energético en tiempo real, el estado del freno y de las puertas, además de alarmas por sobre carga o sobre calentamiento.

2.Beneficios energéticos:

En cuanto a los beneficios energéticos, el consumo actual del ascensor se estimó en 81.818 kWh/año, lo que equivale a un gasto aproximado de \$20.454.500 CLP/año, considerando un valor tarifario promedio de \$250 CLP/kWh. Este cálculo se realizó a partir de la potencia nominal del motor Otis 14 VTR (30 kW), un rendimiento estimado de 0,88, un tiempo de operación de 8 horas diarias y un total de 300 días de funcionamiento anual en un edificio comercial.

La incorporación del variador regenerativo permite una recuperación energética estimada entre el 20 y el 25 %, equivalente a un ahorro de 16.364–20.455 kWh/año. En términos económicos, este beneficio representa una reducción de costos de entre \$4.091.000 y \$5.113.750 CLP anuales, lo que constituye un impacto directo y significativo en la eficiencia operativa del sistema. En consecuencia, la modernización no solo mejora el rendimiento técnico y la seguridad, sino que también aporta un ahorro económico tangible que justifica plenamente la inversión realizada.

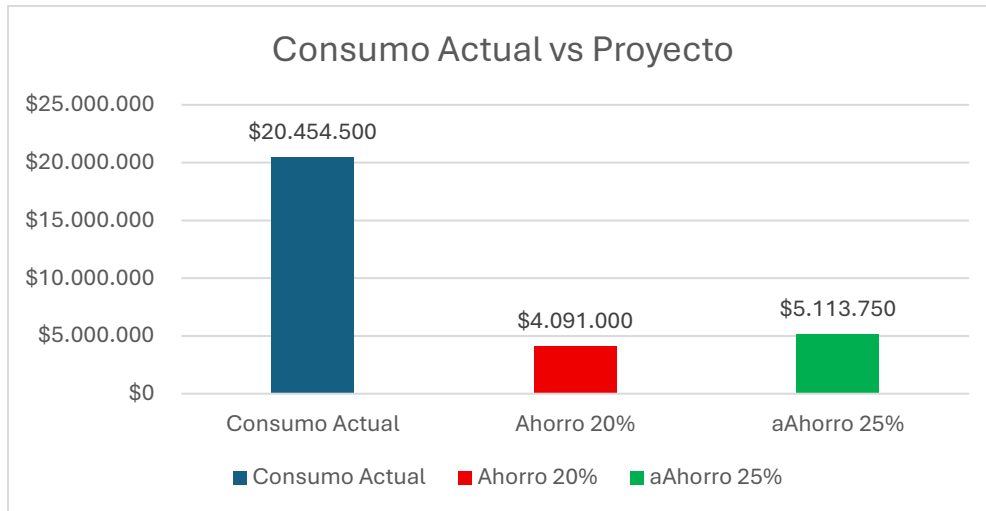


Gráfico 1: Comparación Consumo Actual vs Proyecto. Fuente: Elaboración Propia.

3. Confiabilidad y Mantenimiento

La migración hacia una lógica programable mediante el uso de PLC sustituye la antigua lógica cableada, permitiendo secuencias operativas más seguras, flexibles y adaptables a futuras necesidades. Gracias a esta modernización, el sistema incorpora funciones de mantenimiento predictivo, registrando variables críticas y generando alertas anticipadas que reducen las paradas inesperadas en un rango estimado de 30–40 %. Asimismo, el control vectorial y la reducción de movimientos bruscos contribuyen a la extensión de la vida útil de componentes mecánicos como frenos, poleas y cables, disminuyendo el desgaste prematuro. En términos económicos, esta mejora se traduce en un ahorro adicional cercano a \$1.000.000 CLP por año, considerando la reducción en repuestos y mano de obra correctiva.

4. Cumplimiento Normativo

El diseño propuesto cumple con las principales normativas internacionales y nacionales aplicables al sector. Entre ellas se destacan la IEC 60204-1, que regula la seguridad eléctrica en sistemas de automatización; la ISO 25745-2, orientada a la eficiencia energética en ascensores; y el Decreto Supremo N°58 del MINVU (Chile), que establece requisitos de seguridad y operación en ascensores comerciales. El cumplimiento de estas normas asegura que la modernización es legalmente conforme, segura para los usuarios y alineada con estándares internacionales de calidad y eficiencia.

Además de los beneficios técnicos y energéticos, la modernización aporta mejoras significativas en la experiencia de uso. Los pasajeros disfrutan de un mayor confort, gracias a desplazamientos más suaves y sin movimientos bruscos durante el arranque o el frenado.

A nivel institucional, la intervención mejora la imagen del edificio, proyectando una percepción de calidad, confiabilidad y modernidad en su infraestructura. Finalmente, la arquitectura modular del sistema garantiza escalabilidad futura, permitiendo la integración de sensores adicionales, comunicación IoT y sistemas de gestión remota, lo que asegura la vigencia tecnológica del proyecto en el largo plazo.

8.2 Evaluación Técnica

La evaluación técnica del proyecto de modernización del ascensor se centra en verificar la compatibilidad eléctrica, mecánica y funcional de los equipos seleccionados, así como su cumplimiento con las normativas vigentes y su capacidad de mejorar la operación del sistema.

En cuanto a la compatibilidad eléctrica, el variador Siemens SINAMICS G120 ALM + PM250-2 opera en el rango de 380–480 V AC, plenamente compatible con el motor Otis 14 VTR de 400 V AC. Su potencia nominal de 37 kW supera los 30 kW del motor, asegurando un margen de seguridad adecuado. La corriente nominal del motor, estimada entre 55 y 65 A, se encuentra dentro del rango de operación del variador, y la conexión se realiza directamente al bobinado de alta velocidad (1500 rpm) en configuración triángulo (Δ), garantizando compatibilidad directa.

En términos de control y desempeño, el variador ofrece control vectorial, lo que permite un manejo preciso de la velocidad y el torque, mejorando la eficiencia y reduciendo movimientos bruscos. Se configuraron rampas programables de aceleración (2 s) y frenado (3 s), que suavizan el desplazamiento y disminuyen el desgaste mecánico. El módulo Active Line Module asegura la regeneración energética, devolviendo energía a la red durante el descenso y frenado, eliminando la necesidad de resistencias de disipación. Además, la comunicación PROFINET nativa entre el variador y el PLC Siemens S7-1200 garantiza una integración confiable y rápida.

Respecto al monitoreo y mantenimiento, la HMI KTP700 permite visualizar variables críticas como temperatura, ciclos, consumo energético y alarmas. Se integraron sensores industriales encoder incremental de velocidad, termistor de temperatura y sensores de nivelación conectados al PLC, lo que habilita un mantenimiento predictivo mediante el registro de eventos y alarmas. Este enfoque reduce las paradas inesperadas en un 30–40 % y genera un historial de fallas que facilita el análisis técnico y la planificación de intervenciones.

En el ámbito de cumplimiento normativo, el diseño cumple con el DS N°58 del MINVU (Chile), que asegura la seguridad estructural y funcional en ascensores comerciales; la norma IEC 60204-1, relativa a la seguridad eléctrica en sistemas de automatización; la ISO 25745-2, que regula la eficiencia energética en ascensores; y la IEEE 1451, que garantiza la interoperabilidad de sensores y la escalabilidad futura.

Los beneficios técnicos inmediatos incluyen mayor confort para los pasajeros gracias a desplazamientos más suaves y precisos, mayor seguridad mediante funciones integradas como el STO (Safe Torque Off), mayor confiabilidad por la reducción de fallas y paradas inesperadas, mayor eficiencia energética con recuperación real de energía y reducción del consumo eléctrico, además de escalabilidad para integrar IoT y sistemas de gestión remota en el futuro.

En conclusión, la solución propuesta es técnicamente viable y robusta, ya que es totalmente compatible con el motor y la infraestructura existente, cumple con las normativas nacionales e internacionales, mejora el confort, la seguridad y la confiabilidad del sistema, y permite un ahorro energético significativo junto con un mantenimiento predictivo más eficiente.

8.3 Costos de Implementación (Detalle Técnico-Económico)

El costo total del proyecto se compone de la adquisición de los equipos principales, los elementos auxiliares necesarios para la instalación y los servicios de ingeniería asociados a la puesta en marcha. A continuación, se presenta el desglose detallado de cada ítem, su función dentro del sistema y su costo estimado:

Variador de Frecuencia Regenerativo – SINAMICS G120: \$7.278.605 CLP. Incluye el módulo de línea regenerativo (ALM), el módulo de potencia PM250-2, la unidad de control CU250S-2 PN con comunicación PROFINET y funciones de diagnóstico avanzado, además de filtro de línea y accesorios de montaje. Su costo está asociado a la electrónica de potencia bidireccional y a la capacidad de inyección de energía a la red eléctrica, lo que lo posiciona como el componente principal del ahorro energético del proyecto.

PLC Siemens S7-1200 (CPU 1214C): \$450.000 CLP. Incluye CPU con entradas y salidas integradas, puerto PROFINET y funciones de diagnóstico y alarmas. Se trata de un PLC de gama media, ampliamente utilizado en automatización industrial, con excelente relación costo-prestaciones.

HMI Siemens KTP700: \$550.000 CLP. Incluye pantalla táctil de 7”, licencia WinCC integrada, comunicación PROFINET y protección IP65 frontal. Permite monitoreo en tiempo real, visualización de alarmas, tendencias y parámetros críticos del ascensor.

Sensores y Dispositivos Auxiliares: \$540.000 CLP. Incluye sensores inductivos de piso, encoder incremental, sensor de temperatura del motor, sensores magnéticos de puertas, cables blindados y conectores industriales. Estos elementos proporcionan la retroalimentación necesaria para un control seguro y preciso.

Gabinete, Protecciones y Cableado: \$1.080.000 CLP. Incluye gabinete metálico con ventilación, disyuntores, contactores, borneras, protecciones térmicas, canalizaciones, riel

DIN, fusibles y cableado de potencia y control. Garantiza una instalación eléctrica segura y conforme a las normas vigentes.

Ingeniería, Programación y Puesta en Marcha: \$1.450.000 CLP. Incluye programación del PLC, configuración del variador regenerativo, diseño y desarrollo de pantallas HMI, pruebas funcionales, documentación técnica y parametrización de rampas, velocidades y funciones de seguridad. Este costo corresponde al trabajo especializado requerido para integrar todos los equipos y asegurar un funcionamiento seguro y eficiente.

8.3.1 Resumen General de Costos

Tabla 16: Resumen General costo del Proyecto. Fuente: Elaboración Propia.

Ítem	Valor (CLP)
Variador Siemens SINAMICS G120 regenerativo	\$7.278.605
PLC Siemens S7-1200 CPU 1214C	\$450.000
HMI 7"	\$550.000
Sensores industriales + certificación	\$540.000
Gabinete + protecciones	\$1.080.000
Ingeniería y puesta en marcha + certificación	\$1.450.000
Total, proyecto	\$10.808.605

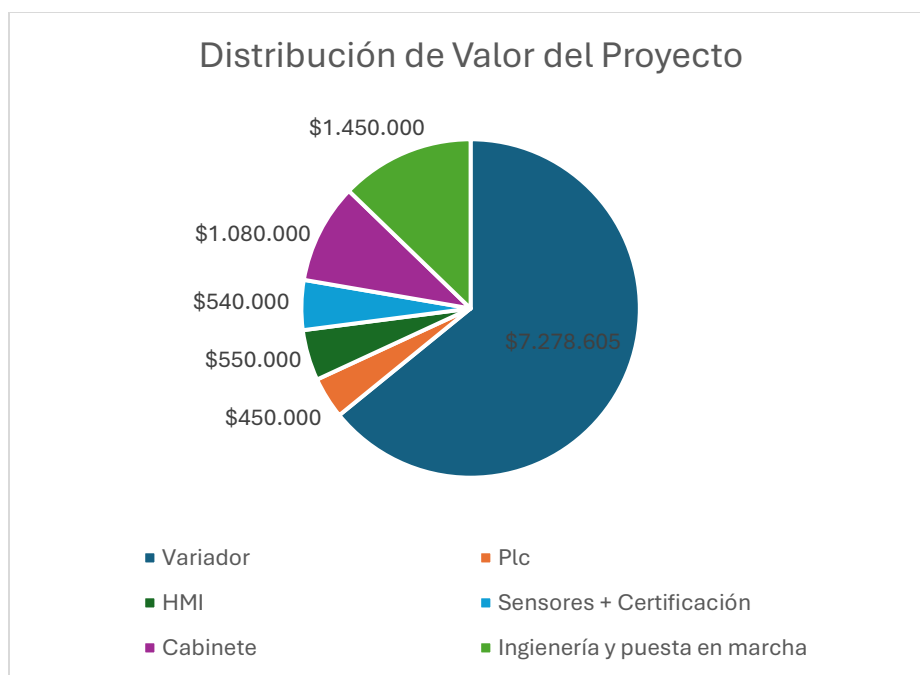


Gráfico 2: Distribución de Valor del Proyecto. Fuente: Elaboración Propia.

8.3.2 Cotización Comparativa de Componentes Empresas de Concepción, Chile

8.3.2.1 Sonepar Chile

Rubro: Distribuidor oficial Siemens
Dirección: Av. Los Carrera, Concepción
Plazo: 7 días hábiles
Garantía: 12 meses

Tabla 17: Cotización Empresa Sonepar Chile.

Ítem	Valor (CLP)
Variador Siemens SINAMICS G120 regenerativo	\$8.000.000
PLC Siemens S7-1200 CPU 1214C	\$530.000
HMI Siemens KTP700	\$600.000
Sensores industriales	\$560.000
Gabinete + protecciones	\$1.120.000
Total, Sonepar	\$10.810.000

8.3.2.2 Inducom

Rubro: Distribuidor industrial (motores, variadores, sensores)
Dirección: Talcahuano, Parque Industrial
Plazo: 5–10 días
Garantía: 12 meses

Tabla 18: Cotización Empresa Sonepar Chile.

Ítem	Valor (CLP)
Variador Siemens SINAMICS G120 regenerativo	\$8.200.000
PLC Siemens S7-1200 CPU 1214C	\$450.000
HMI 7"	\$470.000
Sensores industriales	\$520.000
Gabinete + protecciones	\$1.050.000
Total, Inducom	\$10.690.000

8.3.2.3 Ingetech Ltda.

Rubro: Integradores de automatización

Dirección: Concepción centro

Plazo: 10 días

Garantía: 12 meses

Tabla 19: Cotización Empresa Ingetech Ltda.

Ítem	Valor (CLP)
Variador Siemens SINAMICS G120 regenerativo	\$8.300.000
PLC Siemens S7-1200 CPU 1214C	\$420.000
HMI 7"	\$480.000
Sensores industriales	\$540.000
Ingeniería y puesta en marcha	\$1.350.000
Total, Ingetech	\$11.090.000

8.3.2.4 Ascensores Otis

Rubro: Modernización, control y eficiencia energética

Dirección: Concepción centro

Garantía: 12 meses en equipos

Plazo: 12–15 días

Tabla 20: Cotización Empresa Ascensores Otis,

Ítem	Valor (CLP)
Variador Siemens SINAMICS G120 regenerativo	\$7.278.605
PLC Siemens S7-1200 CPU 1214C	\$450.000
HMI 7"	\$550.000
Sensores industriales + certificación	\$540.000
Gabinete + protecciones	\$1.080.000
Ingeniería y puesta en marcha + certificación SEC	\$1.450.000
Total, Otis	\$10.808.605

8.3.2.5 Ascensores Magna

Rubro: Modernización y mantenimiento de ascensores

Dirección: Santa María Hualpén

Garantía: 12 meses

Plazo: 15 días

Tabla 21: Cotización Ascensores Magna.

Ítem	Valor (CLP)
Variador Siemens SINAMICS G120 regenerativo	\$8.600.000
PLC Siemens S7-1200 CPU 1214C	\$450.000
HMI 7”	\$520.000
Sensores industriales	\$620.000
Ingeniería puesta en marcha	\$1.500.000
Total, Magna	\$12.690.000

8.3.3 Resumen Comparativo Final

Tras analizar las propuestas de las distintas empresas, se observa que todas ofrecen una garantía estándar de 12 meses, con diferencias principalmente en precio y perfil de servicio. Inducom y Sonepar presentan alternativas competitivas en costo, mientras que Ingetech destaca por su equilibrio entre precio y soporte, y Ascensores Magna por su mayor respaldo técnico, aunque con un valor superior. Sin embargo, la propuesta de Otis, con un total de \$10.808.605 CLP, resulta la más conveniente, ya que combina un precio competitivo con el respaldo de una marca líder en el rubro, ingeniería especializada y la certificación SEC, lo que asegura cumplimiento normativo y confianza en la ejecución del proyecto. En conclusión, se opta por Otis como proveedor, al representar la alternativa más sólida en términos de costo, calidad y seguridad.

Tabla 22: Resumen de Cotización Comparativa Fuente: Elaboración Propia.

Empresa	Total (CLP)	Garantía	Perfil
Inducom	\$10.810.000	12 meses	Más económico
Sonepar	\$10.690.000	12 meses	Mejor precio Siemens
Ingetech	\$11.090.000	12 meses	Mejor equilibrio costo/servicio
Otis	\$10.808.605	12 meses	Marca líder, ingeniería especializada y certificación SEC
Ascensores Magna	\$12.690.000	12 meses	Mayor soporte técnico

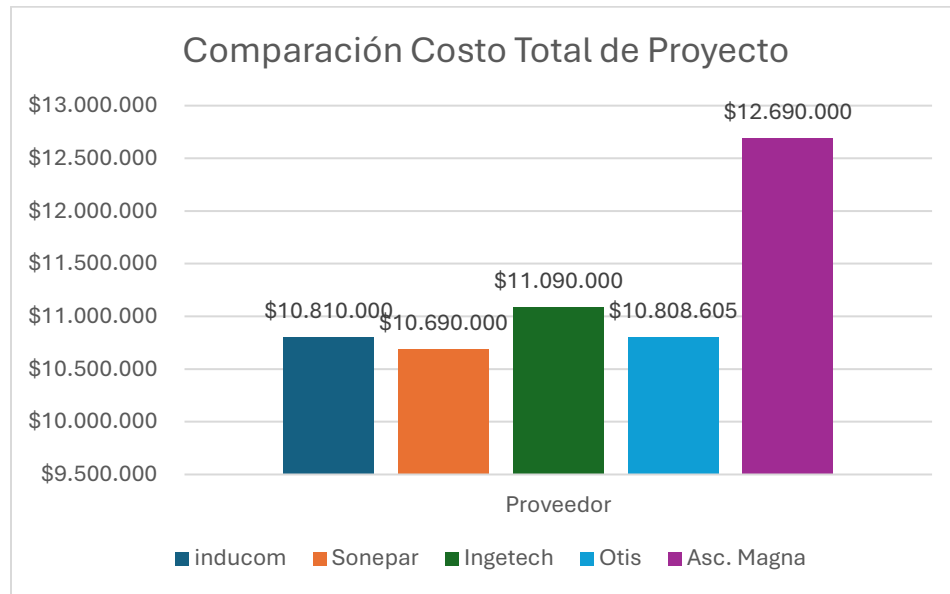


Gráfico 3: Comparación de Cotización Total de Proyecto. Fuente: Elaboración Propia.

8.4 Evaluación Económica y ROI

La evaluación económica del proyecto de modernización del ascensor se centra en cuantificar el ahorro energético y determinar el período de recuperación de la inversión. El consumo energético actual se estima en **81.818 kWh/año**, lo que equivale a un gasto aproximado de **\$20.454.500 CLP/año**, considerando una tarifa promedio de \$250 CLP/kWh. Este valor refleja el costo de operación del sistema en su estado original, sin regeneración ni optimización mediante rampas de control.

Con la incorporación del variador regenerativo, se proyecta un **ahorro energético entre el 20 % y el 25 %**, equivalente a **16.364–20.455 kWh/año**, lo que se traduce en una reducción de costos de entre **\$4.091.000 y \$5.113.750 CLP/año**. Este ahorro proviene de la recuperación activa de energía durante el descenso y frenado, la eliminación de pérdidas por resistencias de disipación, el ajuste más eficiente de velocidad y torque mediante rampas programables y la disminución del consumo en ciclos no productivos.

La **inversión inicial del proyecto** asciende a **\$10.808.605 CLP**, incluyendo el variador regenerativo, PLC, HMI, sensores, gabinete, protecciones, ingeniería y certificación. A partir de esta inversión, se calcula el **retorno de inversión (ROI)** considerando únicamente el ahorro energético: en un escenario conservador (20 % de ahorro), el período de recuperación es de aproximadamente **2,64 años**, mientras que en un escenario favorable (25 % de ahorro) se reduce a **2,1 años**.

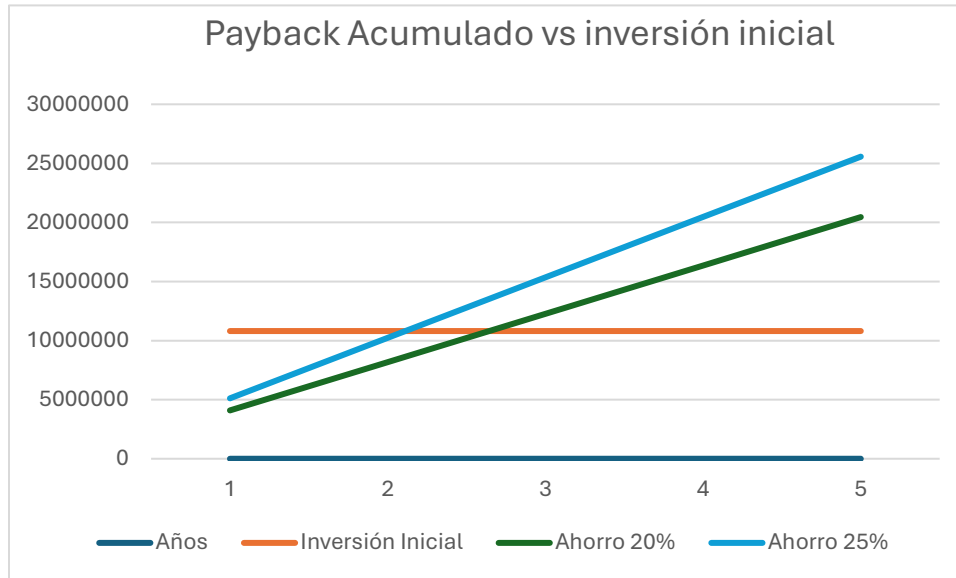


Gráfico 4: Playback Acumulado vs inversión inicial. Fuente: Elaboración Propia.

La lectura de estos resultados confirma que el proyecto recupera su inversión en un plazo medio de 2,1 a 2,64 años, considerando solo el ahorro energético. Sin embargo, al sumar los beneficios adicionales derivados de la reducción de costos de mantenimiento correctivo (estimados en \$1.000.000 CLP/año), la extensión de la vida útil de componentes críticos y la mejora en la percepción de calidad y confiabilidad del servicio, el retorno efectivo se acelera aún más.

Entre los factores que pueden ajustar el ROI se incluyen el perfil real de uso del ascensor (más horas o más días de operación aumentan el ahorro y reducen el payback), la variación en la tarifa eléctrica (un costo por kWh mayor reduce el tiempo de recuperación), y la eficiencia de la puesta en marcha (ajuste de rampas, control vectorial y uso de encoder), que puede elevar el rendimiento y la recuperación efectiva.

Consumo energético actual: $81.818 \text{ KWh/año} \times \$250 \text{ CLP/KWh} = \$20.454.500 \text{ CLP/año}$

Ahorro energético estimado:

20% → $16.364 \text{ KWh/año} = \$4.091.000 \text{ CLP/año}$

25% → $20.455 \text{ KWh/año} = \$5.113.750 \text{ CLP/año}$

Inversión inicial del proyecto: \$10.808.605 CLP (variador, PLC, HMI, sensores, gabinete, ingeniería y certificación)

ROI (solo energía):

Escenario conservador (20%): $\$10.808.605 \div \$4.091.000 \approx 2,64 \text{ años}$

Escenario favorable (25%): $\$10.808.605 \div \$5.113.750 \approx 2.1$ años

Supuestos y alcance del cálculo

Potencia del motor: 30 KW (Otis 14 VTR), operando principalmente en el bobinado de alta velocidad.

Uso operativo: 8 horas efectivas por día, 300 días al año (actividad comercial promedio).

Tarifa eléctrica: \$250 CLP/kWh como referencia comercial aproximada para estimación.

Ahorro energético esperado: 20% (conservador) y 25% (favorable) por regeneración y control con VFD.

Inversión total del proyecto: \$10.808.605 CLP (variador regenerativo, PLC, HMI, sensores, gabinete y protecciones, ingeniería y certificación).

Cálculo del consumo actual y su costo

Consumo anual estimado:

$$\begin{aligned}\text{Consumo} &= (30 \text{ KW}/0,88(\text{rendimiento motor})) \times 8 \text{ h/día} \times 300 \text{ días/año} \\ &= 81.818 \text{ kWh/año}\end{aligned}$$

Costo anual de energía:

$$\text{Costo} = 81.818 \text{ kWh/año} \times 250 \text{ CLP/KWh} = 20.454.500 \text{ CLP/año}$$

Este valor representa el gasto energético del ascensor en su estado actual sin regeneración ni control de rampas y sin optimización operativa.

Ahorro energético proyectado

Escenario conservador (20%):

$$\text{Ahorro KWh} = 81.818 \text{ KWH} \times 0,20 = 16.364 \text{ KWh/año}$$

$$\text{Ahorro CLP} = 16.364 \text{ KWH/año} \times \$250 = 4.091.000 \text{ CLP/año}$$

Escenario favorable (25%):

$$\text{Ahorro KWh} = 81.818 \text{ KWH} \times 0,25 = 20.455 \text{ KWh/año}$$

$$\text{Ahorro CLP} = 20.455 \text{ KWH/año} \times 250 = 5.113.750 \text{ CLP/año}$$

Qué incluye el ahorro:

Recuperación activa en descenso y frenado, reducción de pérdidas por frenado resistivo, mejor ajuste de velocidad y torque con rampas, y menor consumo en ciclos no productivos.

Cálculo del ROI y Payback

Definición:

$$\text{Payback} = \frac{\text{Inversión inicial}}{\text{Ahorro anual}}$$

Conservador (20%):

$$\text{Payback} = \frac{10.808.605}{4.091.000} \approx 2,64 \text{ años}$$

Favorable (25%):

$$\text{Payback} = \frac{10.808.605}{5.113.750} \approx 2,1 \text{ años}$$

8.5 Evaluación Técnico-Económica de los Resultados

Con una inversión inicial de **\$10.808.605 CLP** y un ahorro energético proyectado en el rango de **\$4.091.000 – \$5.113.750 CLP/año**, el proyecto presenta un payback esperado de **2,1 a 2,64 años**, competitivo dentro del sector de modernización de ascensores y financieramente sostenible. Más allá del ahorro energético directo, la solución aporta beneficios colaterales en seguridad (cumplimiento estricto de normativas nacionales e internacionales como DS N°58 MINVU, IEC 60204-1 e ISO 25745-2), confort (desplazamientos más suaves gracias a rampas de aceleración y frenado), disponibilidad (reducción de paradas inesperadas mediante mantenimiento predictivo) y valor percibido (mejora de la imagen y competitividad del edificio).

Síntesis Final:

Los resultados obtenidos evidencian que la modernización propuesta mejora significativamente el desempeño técnico, energético y operativo del ascensor. La evaluación técnica confirma la compatibilidad de los equipos seleccionados y el cumplimiento de las normativas vigentes, mientras que el análisis económico demuestra la viabilidad del proyecto mediante un retorno de inversión inferior a tres años. En conjunto, los resultados validan la solución desarrollada y respaldan su aplicabilidad real en procesos de modernización de sistemas de transporte vertical.

Conclusión

La modernización del ascensor constituyó una aplicación integral y coherente de conocimientos avanzados en automatización industrial, eficiencia energética y cumplimiento de la normativa técnica vigente, permitiendo transformar un sistema obsoleto en una solución moderna, segura, confiable y alineada con los estándares actuales del transporte vertical. El desarrollo del proyecto resultó altamente formativo, ya que contempló un diagnóstico exhaustivo del estado inicial del sistema y de sus principales limitaciones técnicas, la selección fundamentada de equipos compatibles y de tecnología de última generación, la programación, validación y documentación detallada de la lógica de control, supervisión y monitoreo, así como una evaluación técnico-económica en pesos chilenos, asegurando resultados robustos, verificables y defendibles.

La evaluación del cumplimiento de los objetivos demuestra que el proyecto fue desarrollado de manera satisfactoria y conforme a lo planificado. A partir del diagnóstico técnico del sistema existente, se identificaron limitaciones asociadas a la obsolescencia del control, la ausencia de rampas de aceleración y frenado y la falta de recuperación energética, lo que permitió definir una solución técnica coherente con los requerimientos actuales. En este contexto, se seleccionaron e integraron equipos modernos y compatibles, incorporando un variador de frecuencia regenerativo, un sistema de control basado en PLC y una interfaz HMI con comunicación industrial nativa.

La programación de la lógica de control y monitoreo permitió implementar rampas de operación, alarmas críticas y el registro de variables relevantes, fortaleciendo la seguridad operativa y habilitando estrategias de mantenimiento predictivo. Asimismo, el diseño de la interfaz HMI facilitó una supervisión clara e intuitiva del funcionamiento del ascensor, mejorando la interacción operador-sistema y contribuyendo al confort de los usuarios. La elaboración de especificaciones técnicas y la comparación de alternativas tecnológicas aportaron rigor y transparencia al proceso de selección de los equipos.

Finalmente, la evaluación técnico-económica confirmó la viabilidad del proyecto, evidenciando ahorros energéticos significativos y un retorno de inversión inferior a tres años, lo que respalda la factibilidad de la solución propuesta. En síntesis, el proyecto cumplió plenamente con los objetivos generales y específicos planteados, demostrando su viabilidad técnica y económica, así como su aplicabilidad real en procesos de modernización de sistemas de transporte vertical, con impacto directo en la eficiencia energética, la seguridad operativa y la confiabilidad del sistema.

Como proyecciones futuras, se recomienda validar los resultados en terreno mediante mediciones trifásicas reales, optimizar los parámetros de aceleración y frenado en función de la carga y la concurrencia del edificio, incorporar análisis de datos históricos para fortalecer el mantenimiento predictivo, integrar soluciones IoT para monitoreo remoto y gestión en la nube, y extender la solución a otros ascensores o instalaciones similares, aprovechando el carácter escalable del diseño propuesto.

BIBLIOGRAFÍA

Siemens AG. (2023). *SINAMICS G120 drive system – System manual*. Siemens Digital Industries.

Siemens AG. (2023). *SINAMICS G120 PM250-2 – Operating instructions*. Siemens Digital Industries.

Siemens AG. (2022). *SIMATIC S7-1200 programmable controller – System manual*. Siemens AG.

Siemens AG. (2022). *SIMATIC HMI KTP700 Basic – Operating instructions*. Siemens AG.

International Electrotechnical Commission. (2016). *IEC 60204-1: Safety of machinery – Electrical equipment of machines*. IEC.

International Electrotechnical Commission. (2017). *IEC 61800-3: Adjustable speed electrical power drive systems – EMC requirements*. IEC.

International Electrotechnical Commission. (2018). *IEC 61800-5-1: Safety requirements for adjustable speed electrical power drive systems*. IEC.

International Organization for Standardization. (2017). *ISO 25745-2: Energy performance of lifts*. ISO.

Institute of Electrical and Electronics Engineers. (2014). *IEEE 1451: Smart transducer interface for sensors and actuators*. IEEE.

Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (2016). *Decreto Supremo N°58: Reglamento de ascensores, montacargas y escaleras mecánicas*. Gobierno de Chile.

Otis Elevator Company. (2010). *Manual técnico motor Otis 14 VTR*. Documentación técnica interna.

ANEXOS

Anexo A: Diagramas de Arquitectura del Sistema

Anexo A.1: Diagrama General de Arquitectura del Sistema Automatizado

Descripción:

El presente diagrama muestra la arquitectura general del sistema de automatización propuesto para el ascensor comercial. Se observa la integración entre el motor Otis 14 VTR, el variador regenerativo SINAMICS G120, el PLC Siemens S7-1200 y la HMI KTP700 Basic, comunicados mediante red industrial PROFINET.

Elementos principales del diagrama:

- Red eléctrica trifásica 400 V AC
- Active Line Module (ALM)
- Módulo de potencia PM250-2
- Motor trifásico Otis 14 VTR
- PLC Siemens S7-1200
- HMI Siemens KTP700 Basic
- Sensores (posición, temperatura, encoder)
- Freno electromagnético

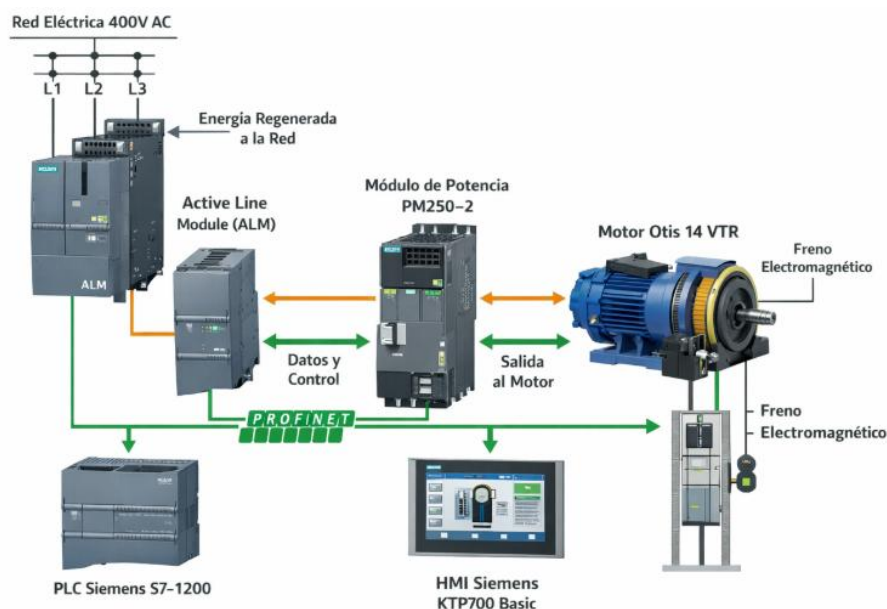


Figura A.1: Diagrama General de Arquitectura del Sistema Automatizado. Fuente: Elaboración Propia.

Anexo A.2: Diagrama de Comunicación PLC – Variador – HMI

Descripción:

Este diagrama representa la comunicación lógica entre el PLC, el variador de frecuencia y la

HMI mediante PROFINET. Se identifican los telegramas utilizados, el flujo de datos de monitoreo y control, y la interacción con el operador.

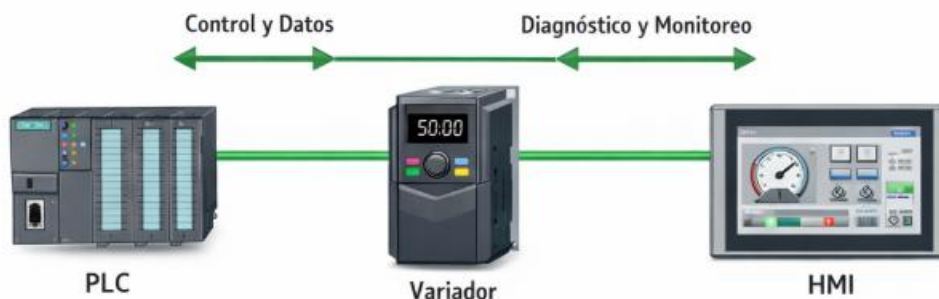


Figura A2: Diagrama de comunicación PROFINET entre PLC, variador y HMI. Fuente: Elaboración propia

Anexo B: Diagramas Eléctricos y de Potencia

Anexo B.1: Diagrama de Potencia del Variador SINAMICS G120

Descripción:

Se presenta el diagrama de potencia del variador regenerativo SINAMICS G120 con Active Line Module y PM250-2, mostrando la conexión trifásica, protecciones, conexión al motor y retorno de energía a la red.

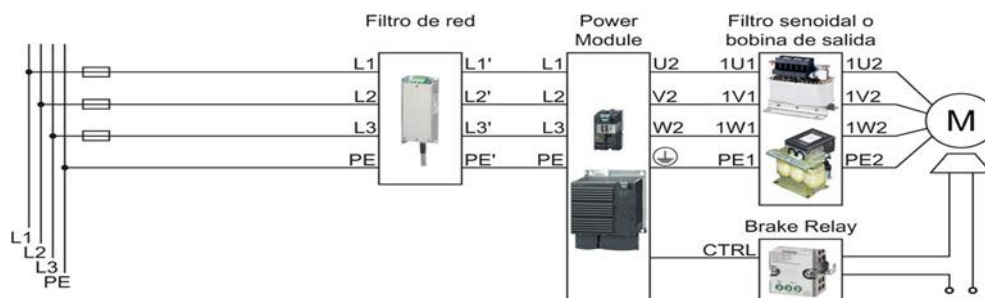


Figura B.1: Diagrama de potencia SINAMICS G120 (ALM + PM250-2). Fuente: Manual Siemens

Anexo B.2: Conexión del Motor Otis 14 VTR en Alta Velocidad

Descripción:

Diagrama de conexión del motor Otis 14 VTR utilizando únicamente el bobinado de alta velocidad (4 polos – 1500 rpm), configurado en conexión triángulo (Δ) para su operación con variador de frecuencia.

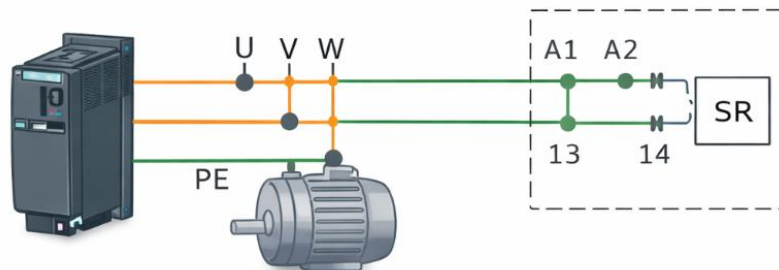


Figura B.2: Conexión motor Otis 14 VTR en alta velocidad. Fuente: Manual Otis

Anexo C: Tablas Técnicas Complementarias

Anexo C.1: Tabla Resumen de Señales del Sistema

Tabla C.1: Señales principales del sistema automatizado. Fuente: Elaboración propia

Señal	Tipo	Origen	Destino	Descripción
Velocidad de motor	Analógica	Variador	PLC	RPM reales del motor
Corriente motor	Analógica	Variador	PLC	Detección de sobrecarga
Temperatura de motor	Analógica	Sensor	PLC	Protección térmica
Estado freno	Digital	PLC	HMI	Confirmación de enclavamiento
Piso actual	Digital	Sensor inductivo	PLC	Posición de cabina
Alarmas	Digital	Variador	HMI	Diagnóstico de fallas

Anexo C.2: Tabla de Parámetros Principales del Variador

Tabla C.2: Parámetros operativos del variador SINAMICS G120. Fuente: Elaboración propia

Parámetro	Valor configurado
Frecuencia máxima	50 Hz
Rampa de aceleración	2 s
Rampa de frenado	3 s
Modo de control	Vectorial
Regeneración	Activada
Torque límite	100%

Anexo D: Capturas de Programación PLC

Anexo D.1: Bloque de Monitoreo de Variables Críticas

Descripción:

Captura del bloque funcional desarrollado en TIA Portal para la adquisición y procesamiento de variables críticas provenientes del variador y sensores.

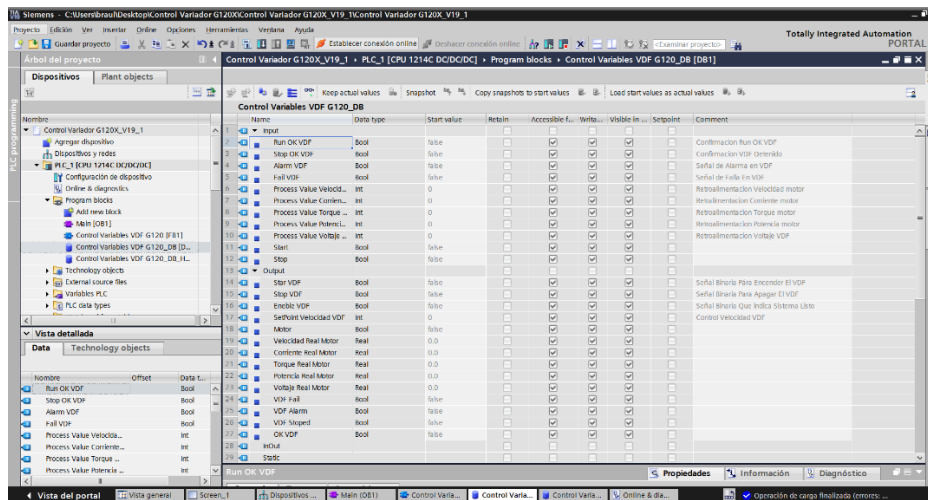


Figura D.1: Bloque de monitoreo de variables en PLC. Fuente: Elaboración propia.

Anexo D.2: Mapeo de Tags entre PLC y Variador

Descripción:

Imagen correspondiente al mapeo de direcciones de entrada/salida entre el PLC y el variador utilizando telegramas PROFINET.

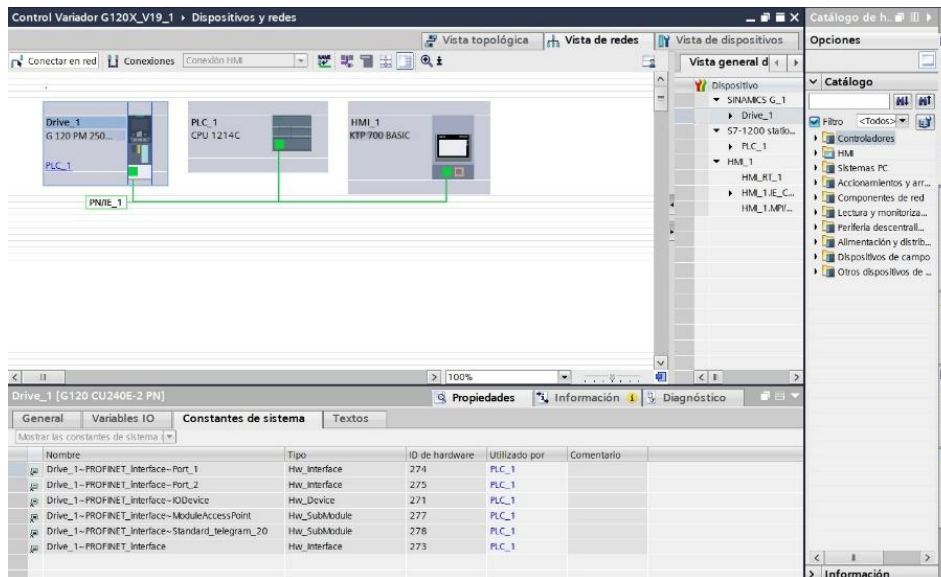


Figura D.2: Mapeo de tags PLC-Variador en TIA Portal. Fuente: Elaboración propia

Anexo E: Pantallas de la Interfaz HMI

Anexo E.1: Pantalla de Estado General del Ascensor

Descripción:

Pantalla principal de la HMI donde se visualiza el estado operativo del ascensor, piso actual, dirección de movimiento y alarmas activas.

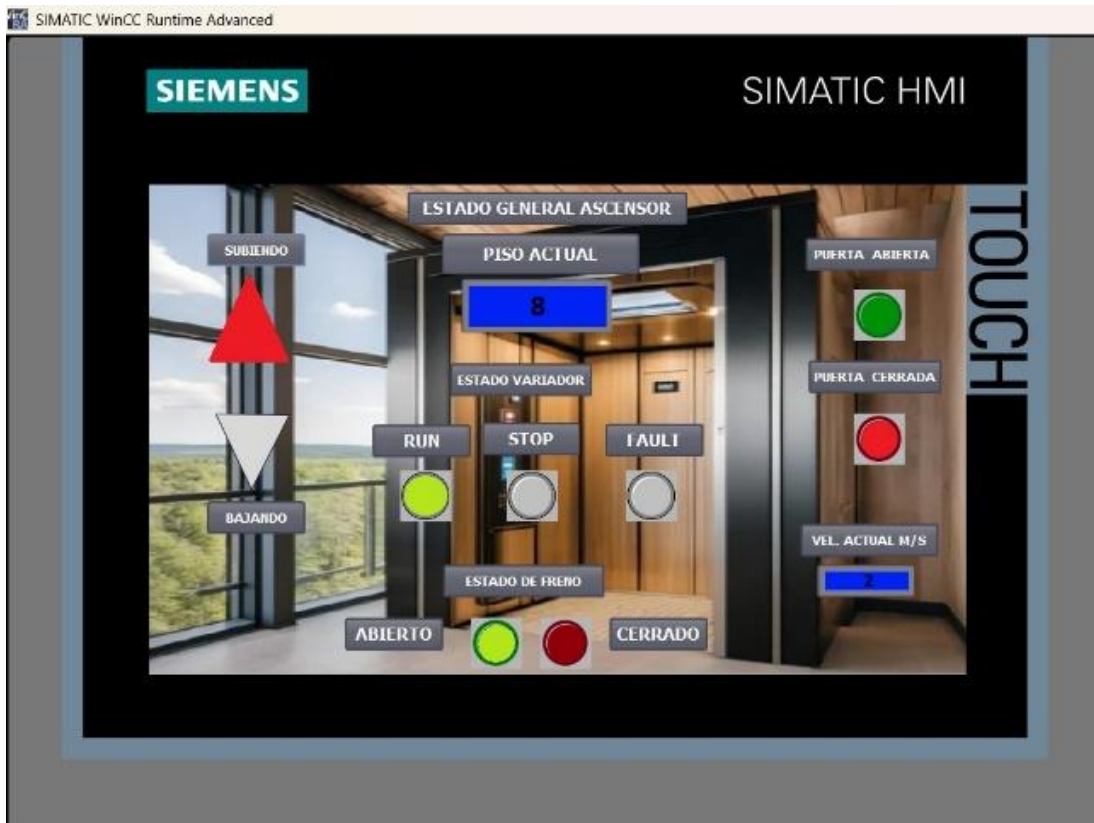


Figura E.1: Pantalla HMI – Estado General. Fuente: Elaboración propia

Anexo F: Gráficos de Evaluación Energética

Anexo F.1: Comparación de Consumo Energético

Descripción:

Gráfico comparativo entre el consumo energético del sistema original y el sistema modernizado con variador regenerativo.

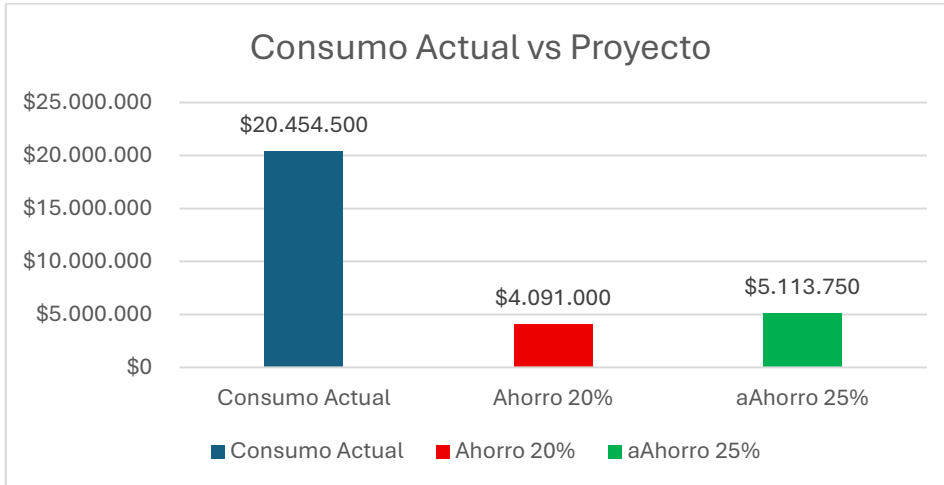


Gráfico F.1: Consumo energético antes y después de la modernización. Fuente: Elaboración propia.

Anexo F.2: Retorno de Inversión (ROI)

Descripción:

Gráfico que representa el retorno de inversión acumulado en función del tiempo, considerando el ahorro energético anual estimado.

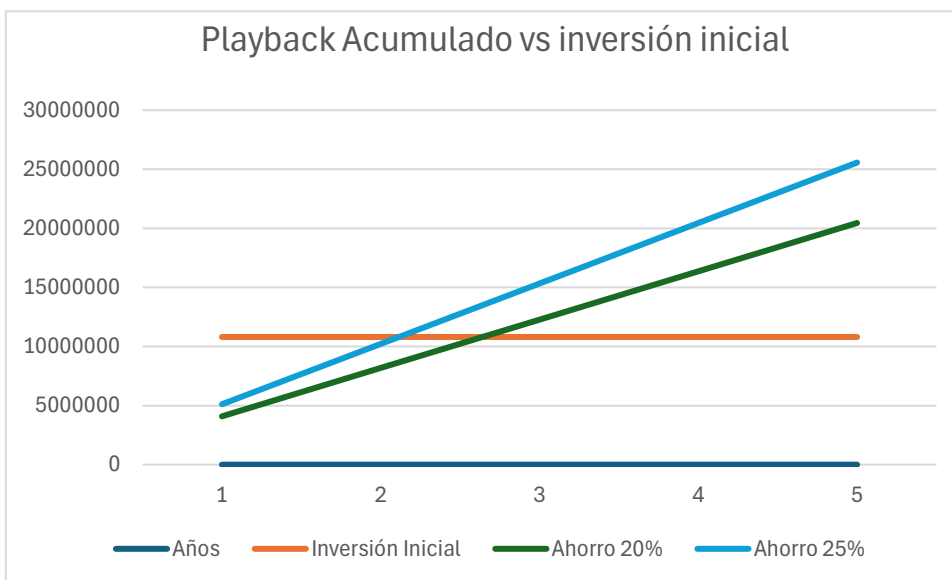


Gráfico F.2: Retorno de inversión del proyecto. Fuente: Elaboración propia.

Anexo G: Fotografías del Sistema Existente

Anexo G.1: Tablero de Control Existente



Figura G.1: Tablero de control original del ascensor. Fuente: Elaboración propia

Anexo G.2: Motor Otis 14 VTR Instalado



Figura G.2: Motor Otis 14 VTR en sala de máquinas. Fuente: Elaboración propia