



UNIVERSIDAD RICARDO PALMA

FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

Diseño de un sistema de comunicaciones de fibra óptica para el control de
un horno de una planta cementera

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero Electrónico

AUTOR

Sernaque Alata, Benjamin Aron
ORCID: 0009-0000-6132-3119

ASESOR

Chong Rodriguez, Humberto
ORCID: 0000-0002-4643-0538

Lima, Perú

2024

METADATOS COMPLEMENTARIOS

Datos del autor

Sernaque Alata, Benjamin Aron

DNI: 74022467

Datos de asesor

Chong Rodriguez, Humberto

DNI: 07811343

Datos del jurado

JURADO 1

Burneo Gonzalez, Katia Janet

DNI: 09391942

ORCID: 0000-0002-7046-8106

JURADO 2

Cuadrado Lerma, Luis Alberto

DNI: 10448199

ORCID: 0000-0001-9689-3461

JURADO 3

Wong Lau, Carlos

DNI: 06617892

ORCID: 0000-0001-8848-0106

JURADO 4

Rodriguez Alcazar, Jose Luis Antonio

DNI: 08242196

ORCID: 0000-0003-2238-3017

Datos de la investigación

Campo del conocimiento OCDE: 02.02.01

Código del Programa: 712026

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Yo, Benjamin Aron Sernaque Alata, con código de estudiante N°201111700, con DNI N°74022467, con domicilio en Jr. Las drusas 218 Urb. Las Flores 78, provincia y departamento de Lima, en mi condición de bachiller en Ingeniería Electrónica de la Facultad de Ingeniería, declaro bajo juramento que:

La presente tesis titulada: “Diseño de un sistema de comunicaciones de fibra óptica para el control de un horno de una planta cementera” es de mi única autoría, bajo el asesoramiento del docente Ing. Humberto Chong Rodríguez, y no existe plagio y/o copia de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación presentado por cualquier persona natural o jurídica ante cualquier institución académica o de investigación, universidad, etc.; la cual ha sido sometida al antiplagio Turnitin y tiene el 24% de similitud final.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en la tesis, el contenido de estas corresponde a las opiniones de ellos, y por las cuales no asumo responsabilidad, ya sean de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o de internet. Asimismo, ratifico plenamente que el contenido íntegro de la tesis es de mi conocimiento y autoría. Por tal motivo, asumo toda la responsabilidad de cualquier error u omisión en la tesis y soy consciente de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de falsa declaración, me someto a lo dispuesto en las normas de la Universidad Ricardo Palma y a los dispositivos legales nacionales vigentes.

Surco, 04 de diciembre de 2023



Benjamin Aron Sernaque Alata

DNI N°74022467

INFORME DE ORIGINALIDAD-TURNITIN

Diseño de un sistema de comunicaciones de fibra óptica para el control de un horno de una planta cementera

INFORME DE ORIGINALIDAD

24%	23%	1%	9%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Ricardo Palma Trabajo del estudiante	3%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	3%
3	repositorio.urp.edu.pe Fuente de Internet	2%
4	cache.industry.siemens.com Fuente de Internet	2%
5	documentop.com Fuente de Internet	1%
6	repositorio.unprg.edu.pe:8080 Fuente de Internet	<1%
7	repositorio.unh.edu.pe Fuente de Internet	<1%
8	Submitted to Instituto Superior de Artes, Ciencias y Comunicación IACC Trabajo del estudiante	<1%

DEDICATORIA

Esta tesis tiene como principal dedicación a Dios y a mis padres José Sernaque y Victoria Alata, por haberme inducido como la persona que soy al presente. Gracias por su soporte tanto económico como moral durante mi carrera profesional. Por la formación que he recibido, dedico esta tesis a mis padres.

Aron Sernaque Alata

AGRADECIMIENTO

Gran gratitud a la facultad de Ingeniería Electrónica de la Universidad Ricardo Palma, por formarnos como profesionales. A mi asesor Humberto Chong por sus recomendaciones y sugerencias en la etapa de desarrollo de la tesis.

Aron Sernaque Alata

ÍNDICE GENERAL

METADATOS COMPLEMENTARIOS.....	ii
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD.....	iii
INFORME DE ORIGINALIDAD-TURNITIN.....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
ÍNDICE GENERAL.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	xi
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.1 Descripción y formulación del problema.....	3
1.2 Objetivos general y específicos.....	3
1.2.1 Objetivo general.....	3
1.2.2 Objetivos específicos.....	3
1.3 Delimitación de la investigación: técnica espacial y teórica.....	4
1.3.1 Temporal.....	4
1.3.2 Espacial.....	4
1.3.3 Teórica.....	4
1.4 Justificación.....	4
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	5
2.1 Antecedentes del estudio de investigación.....	5
2.2 Selección de variables.....	7
2.2.1 Variable independiente.....	7
2.2.2 Variable dependiente.....	7
2.3 Bases teóricas.....	7
2.3.1 Niveles de una red industrial.....	15
2.3.2 Topología.....	16
2.3.3 Bus de campo.....	17
2.3.4 Profinet.....	17

2.4 Parámetros principales.....	19
CAPÍTULO III: DISEÑO DEL SISTEMA DE COMUNICACIONES.....	21
3.1 Descripción general.....	21
3.2 Selección de elementos del sistema de comunicaciones.....	24
3.2.1 Sensor para la medición de la temperatura en ingreso y salida del horno.....	24
3.2.2 Sensor de flujo de alimentación de material al ingreso del horno.....	24
3.2.3 Actuador para el ingreso de material en el horno.....	25
3.2.4 Controlador lógico programable para la gestión maestra.....	25
3.2.5 Pantalla interfaz hombre-máquina.....	26
3.2.6 Servidores para el monitoreo y supervisión de red de campo.....	27
3.2.7 Cables de fibra óptica	27
3.2.8 Switch industrial.....	28
3.3 Diseño del sistema de comunicaciones.....	31
3.4 Topología.....	31
3.5 Elementos que conforman el sistema de comunicaciones.....	37
CAPÍTULO IV: ASPECTOS ADMINISTRATIVOS.....	50
4.1 Análisis de costo de generales.....	50
CONCLUSIONES.....	55
RECOMENDACIONES.....	56
REFERENCIAS.....	57
ANEXOS.....	60
Anexo A: Matriz de consistencia.....	60
Anexo B: Cable de fibra multimodo cable corning 016TEY-13138A2G.....	61
Anexo C: Caudalímetro másico térmico marca ABB modelo FMT400-VTS.....	63
Anexo D: Dvi vision cat mc2 aru2 cpu.....	64
Anexo E: Pantalla HMI KTP 900.....	65
Anexo F: Cable de fibra óptica simatic NET FO standard de 50/125 um.....	66
Anexo G: Flujómetro másico.....	68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: % de potencia de salida en función de la pérdida en dB.....	14
Tabla 2: Zonas del proceso de cocción del clínker en un horno rotatorio.....	23
Tabla 3: Características técnicas del horno rotatorio.....	23
Tabla 4: Cuadro comparativo de sensor de temperatura en ingreso y salida del horno.....	24
Tabla 5: Cuadro comparativo de sensor de flujo de alimentación de material al ingreso del horno.....	24
Tabla 6: Cuadro comparativo de actuador para activar el ingreso de material en el horno.....	25
Tabla 7: Cuadro comparativo de PLC para la gestión maestra.....	26
Tabla 8: Cuadro comparativo de pantalla HMI.....	26
Tabla 9: Cuadro comparativo de servidores para monitoreo y supervisión de red de campo.....	27
Tabla 10: Cuadro comparativo de cable de fibra óptica.....	28
Tabla 11: Cuadro comparativo de switch industrial.....	28
Tabla 12: Características de los componentes del sistema de comunicaciones por fibra óptica.....	34
Tabla 13: Costo de equipos.....	50
Tabla 14: Cuadro CAPEX.....	53
Tabla 15: Cuadro OPEX.....	54
Tabla 16: Matriz de consistencia.....	60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama básico del sistema de comunicaciones de fibra óptica.....	9
Figura 2: Modelo de la ley de snell.....	11
Figura 3: Haz de luz que se refracta alejándose de la normal.....	11
Figura 4: Perfiles de índice en el núcleo.....	12
Figura 5: Niveles de una red industrial según modelo CIM.....	16
Figura 6: Topología física de un sistema de comunicaciones.....	17
Figura 7: Arquitectura de un sistema profinet.....	19
Figura 8: Plano de la planta de cemento.....	22
Figura 9: Trayectoria del sistema de comunicaciones de fibra óptica.....	29
Figura 10: Plano del sistema de comunicaciones de fibra óptica.....	30
Figura 11: Esquema del sistema de comunicaciones de fibra óptica.....	31
Figura 12: Topología en anillo del sistema de comunicaciones de fibra óptica.....	32
Figura 13: Topología en línea de los módulos de E/S de tablero de periferia.....	33
Figura 14: Red de Gestión del sistema de comunicaciones de fibra óptica.....	36
Figura 15: Termocupla tipo S de la marca Endress Hauser.....	37
Figura 16: Caudalímetro másico Multistream.....	38
Figura 17: Actuador electroneumático marca KINETROL.....	39
Figura 18: Analizador de combustión y emisiones.....	40
Figura 19: Caudalímetro térmico másico.....	41
Figura 20: Cable de fibra óptica multimodo.....	42
Figura 21: Patch core fibra óptica Simatic NET FO standard de 50/125 um.....	43
Figura 22: Cable IE FC TP flexible, GP 2 x 2 (PROFINET Type B)	43
Figura 23: PLC S7 -400, CPU 410-5H.....	44
Figura 24: Switch industrial scalance XC-206.....	45
Figura 25: Switch scalance XR324-4M EEC.....	46
Figura 26: Servidor Simatic IPC847D.....	48
Figura 27: Dvi-vision-cat-mc2-arú2-cpu.....	48
Figura 28: Pantalla HMI KTP 900.....	49

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Relación entre longitud de onda, velocidad de la luz y frecuencia.....	10
Ecuación 2: Relación correspondiente de índice de refracción.....	10
Ecuación 3: Ley de snell.....	10
Ecuación 4: Pérdida total de potencia en un cable de fibra óptica.....	13
Ecuación 5: Cálculo de la potencia medida a una determinada distancia.....	13
Ecuación 6: Cálculo de la potencia medida en dBm.....	14

RESUMEN

La presente investigación se basó en el diseño de un sistema de comunicaciones de fibra óptica para el control de un horno de una planta cementera, en la cual se alinea sobre el estándar Profinet desarrollado por la norma International Electrotechnical Commission 61784-2 para que la planta cementera obtenga en su proceso la obtención de clínker de manera óptima.

La tesis fue justificada por poseer utilidad tecnológica y práctica los cuales son oportuno ya que permitieron obtener del proceso una mejor rentabilidad y productividad. Se describió la referencia teórica basada en la fibra óptica como elemento principal.

Una importante ventaja es la alta velocidad de transferencia de los datos a 100 megabits/segundo, la cual permitió que las señales provenientes de los sensores, transmisores, electroválvulas sean transmitidas en tiempo real en una pantalla táctil y que posee la interfaz humano-máquina.

Por último, este estudio permitió ser el pilar para los trabajos de investigación basado en Profinet ya que es una red que presenta tecnología sofisticada con tendencia creciente para entornos industriales, mineros, petroquímica, hidrocarburos.

Palabras claves: Fibra óptica, Profinet, clínker, sensores, rentabilidad, productividad.

ABSTRACT

The present investigation was based on the design of a fiber optic communication system for the control of a kiln of a cement plant, in which it is aligned on the Profinet standard developed by the standard International Electrotechnical Commission 61784-2 so that the cement plant obtain optimal clinker production in your process.

The thesis was motivated by having technological utility and a practice which is opportune since it allowed us to obtain better profitability and productivity from the process. The theoretical reference based on optical fiber as the main element was described.

An important advantage is the high speed of data transfer at 100 megabits/second, which allowed that the signals coming from the sensors, transmitters, solenoid valves are transmitted in real time on a touch screen and which has a human-machine interface.

Finally, this study allowed to be the basis for the research work based on Profinet since it is a network that presents sophisticated technology with a growing trend for industrial, mining, petrochemical, hydrocarbon environments.

Keywords: Optical fiber, Profinet, clinker, sensors, profitability, productivity.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad las nuevas aplicaciones de las redes industriales presentan una mayor aceptación por parte de las empresas mineras, petroquímicas, alimentarias, etc. que operan sus plantas de forma automatizada e integrada, además están conformados de distintos elementos que utilizan la tecnología óptica y que permite integrar las líneas de control de los diversos procesos con las áreas de supervisión y gestión.

Una ventaja importante es que permite mejorar los procesos ya que al disponer cualidades particulares para atender a las exigencias de interoperabilidad en tiempo real y soportar el entorno hostil en la que se presenta factores tales como interferencias electromagnéticas, polvos emitidos.

Para esta investigación se ha planteado el problema general de la posterior manera: ¿El diseño de un sistema de comunicaciones por fibra óptica permitirá el control de un horno en una planta cementera?, interrogante que se ha tratado de responder.

El objetivo principal fue diseñar un sistema de comunicaciones de fibra óptica para el control de un horno en una planta cementera.

Para un estudio sistematizado del problema, la tesis se ha estructurado de la siguiente manera:

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, en el cual se menciona la descripción y formulación del problema general y específicos, asimismo el objetivo general y específico, también las delimitaciones de la investigación y por último la justificación de la investigación.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO, se describe los precedentes de la tesis, se enuncia el marco de referencia sobre los avances que se efectuaron en los sistemas de fibra óptica en campos industriales. Además, se utilizaron maestrías relacionadas y las bases teóricas.

CAPÍTULO III: DISEÑO DEL SISTEMA DE COMUNICACIONES, se considera el desarrollo de ingeniería, empezando con la reseña general de proceso de un horno en una planta cementera. Este capítulo describe cada una de las etapas desde el esquema del sistema de comunicaciones, también su correspondiente topología y elementos involucrados.

CAPÍTULO IV: ASPECTOS ADMINISTRATIVOS, en este capítulo se contempla el análisis de costos de los equipos.

Se culmina con la redacción de las conclusiones, consideraciones y la referencia bibliográfica utilizada como también se incluye los anexos que proporcionan la validación de la información de la presente tesis.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción y formulación del problema

Una de las etapas de los procesos de una planta cementera denominada obtención del clínker o clinkerización se encarga de calentar el insumo (caliza) pre calcinado en un horno a una temperatura 1450 °C. Para mantener este proceso de manera eficiente se necesita que el horno rotatorio sea controlado a un nivel deseado.

Con el diseño del sistema de comunicaciones de fibra óptica se busca la transmisión y el intercambio de las señales de las variables, el cual permite el mejoramiento de la respuesta de esta línea de proceso productivo, además de monitorear de manera remota las variables y de mejorar el rendimiento general. Se incluye dentro de sus elementos primarios tales como sensores de temperatura, sensores de presión, elementos finales como actuadores y elementos de regulación como el controlador lógico programable siendo éstos los encargados de estabilizar el funcionamiento del horno rotatorio en el proceso.

1.1.1 Problema general

¿Cómo realizar el control de un horno en una planta cementera empleando la tecnología de la fibra óptica?

1.1.2 Problemas específicos

- a) ¿Cómo se va elaborar el diseño de un sistema de comunicaciones de fibra óptica para el control de un horno de una planta cementera?
- b) ¿Cómo brindar confiabilidad en el diseño de un sistema de comunicaciones de fibra óptica para el control de un horno de una planta cementera?

1.2 Objetivo general y específicos

1.2.1 Objetivo general

- Diseñar un sistema de comunicaciones de fibra óptica para el control de un horno de una planta cementera.

1.2.2 Objetivos específicos

- a) Desarrollar un esquema de red y describir la topología en las comunicaciones de fibra óptica que permita el control de un horno rotativo de una planta cementera.
- b) Desarrollar un enlace óptico en el detalle en las comunicaciones de fibra óptica y también describir el cálculo del enlace óptico que permita el control de un horno de una planta cementera.

1.3 Delimitación de la investigación: técnica, espacial y teórica.

1.3.1 Temporal

- El proyecto de tesis ha sido asesorado externamente con el apoyo de un ingeniero supervisor de una reconocida empresa que procesa y comercializa cemento a nivel nacional, durante el periodo noviembre 2022 – febrero 2023.

1.3.2 Espacial

- El presente trabajo de investigación está delimitado en el diseño del sistema de comunicaciones de fibra óptica sólo para un proceso de la planta cementera, lo cual los demás procesos de la planta no serán desarrollados.

1.3.3 Teórica

- Hay limitaciones para la exploración de información de fuentes documentales, afiliaciones de páginas, bibliografías, acceso a base de datos, ficha técnica de dispositivos y sistemas de comunicaciones a nivel de la industria cementera.

1.4 Justificación

Debido a las mejoras en tecnología y redes industriales en los procesos de las empresas cementeras y permita alcanzar procesos altamente eficientes y mantener niveles de operación óptimo. Es por ello que el desarrollo de este trabajo de investigación se justifica en el diseño de un sistema de comunicaciones de fibra óptica que permita integrar las señales de los instrumentos del horno con la sala de control para la supervisión y monitoreo de este proceso por el personal correspondiente.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del estudio de investigación

2.1.1 Antecedentes internacionales

Ávila (2021) en su trabajo de tesis: Desarrollo e implementación de redes industriales utilizando el protocolo Modbus para la transferencia de datos de control de un accionador de frecuencia variable que se abrevia (VFD) y entre dos controladores lógicos programables que abreviado es (PLCS).

Propone el estudio, programación e implementación de dos sistemas utilizando una norma de comunicación muy importante tanto las versiones protocolo de control de transmisión (TCP) y unidad terminal remota que se abrevia (RTU) para la transmisión de datos de control de un variador de frecuencia PowerFlex 4 y dos PLCs S7- 1215C. Menciona los principios que se emplea en las arquitecturas de las comunicaciones de la industria y también detalla el protocolo mencionado, así como el principio de funcionamiento del controlador programable y del variador de velocidad. En el tercer capítulo describe la metodología para la implantación del sistema empleando el protocolo TCP en la cual nombra los periféricos que ha empleado, también realiza la descripción de la conexión de los equipos y la configuración del programa de los mismos para que luego realice una integración de las redes de comunicación. En el capítulo cuatro presenta los resultados y conclusiones destacando al conjunto de reglas nombrado permite la inserción y la verificación de los dispositivos distribuidos.

Pincay (2021) en su trabajo de tesis: Estudio de factibilidad de una red de fibra óptica para el mejoramiento de comunicación de la Unidad Educativa Alejo Lascano.

Propone un análisis técnico-económico con el objetivo de elaborar el diseño lógico de la infraestructura de internet de la Unidad de Estudios para mejorar la transmisión de los datos. En marco teórico explica las principales características de la fibra óptica y los elementos que la conforman. En la metodología de la investigación emplea métodos tales como hipotético-inductivo, deductivo, estadístico y bibliográfico. En el capítulo de análisis y tabulación de resultados describe una encuesta realizada a 321 estudiantes. Finalmente, en sus conclusiones resalta la utilización del programa Cisco packet tracer.

Ramirez (2020) en su trabajo de tesis: Aplicaciones de fibra óptica en la industria Minero-Energética.

Propone la difusión de la fibra óptica en la industria la cual resalta la metodología para la implementación del sistema Distributed temperature sensing abreviado (DTS)

principalmente en minas de carbón como control y prevenir los incendios a través del perfil de temperatura y el sistema Distributed acoustic sensing que se abrevia (DAS) para detectar las variaciones de esfuerzos en la presencia de explotación y el uso de la tecnología acústica para resguardo o sistema de alarma de intrusión. Además, realiza ensayos de campo y laboratorio para demostrar el funcionamiento en la distribución de la fibra de vidrio y el monitoreo de los parámetros. Finalmente desarrolla las aplicaciones al realizar las simulaciones en despliegue y la instalación del medio de transmisión mencionado dentro de una mina subterránea.

2.1.2 Antecedentes Nacionales

Cuellar (2019) en su trabajo de tesis: Diseño de una red de fibra óptica para mejorar la comunicación de datos en las Instituciones públicas y población del distrito de Quichuas, Tayacaja, Huancavelica-2018.

Propone una alternativa orientada a la mejora de las comunicaciones de datos en el distrito resaltado. El objetivo consiste en la realización de esquema de un enlace óptico entre el nodo Mariscal Cáceres de la Red Regional Huancavelica y otro nodo situado en el distrito mencionado líneas arriba. Mencionar que realiza el estudio del cálculo y dimensionamiento del enlace óptico mediante el programa Matlab en el entorno interactivo Guide. Para el diseño de la cobertura emplea el software LinkPlanner. Luego señala los elementos que conforman y también resalta los beneficios de los usuarios en las instituciones públicas y pobladores.

Leveau (2019) en su trabajo de suficiencia profesional: Propuesta de mejora de la interconexión entre el edificio administrativo y la refinería Iquitos de la empresa Petroperú mediante fibra óptica 2019.

Plantea la solución tecnológica con la utilización de la fibra óptica para la intercomunicación entre sus sedes y la Planta de Refinados Iquitos en la compañía Petroperú y que tienen aproximadamente una distancia de 14.5 kilómetros. Realiza un análisis y situación actual de la interconexión de la red corporativa. Elabora el presupuesto necesario para la mejora y beneficio del Área Recursos Humanos y demás interesados. Explica que una de las opciones más recomendadas es el tendido aéreo debido a razones tales como facilidad en el despliegue, menor costo, facilita la inspección y la rectificación de errores que se presenten. Finalmente realiza las pruebas mínimas tales como reflectrómetro óptico en el dominio del tiempo, polarización por modo de transmisión, dispersión cromática, prueba a 10 gigabits y verificación visual para garantizar la operatividad de la fibra óptica entre Refinería Iquitos y el Edificio

Administrativo.

Beltrán (2018) en su trabajo de tesis: Diseño del sistema de comunicaciones que incluye el estándar del Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos C37.94 por sus siglas en inglés (IEEE) entre las subestaciones eléctricas San Gabán y Azángaro.

Propone el diseño de intercomunicación por tecnología de fibra óptica desde la central de distribución eléctrica primaria hacia una fuente de suministro de energía secundaria, asimismo indica los cálculos necesarios que realizó en el sistema de comunicaciones entre las subestaciones antes mencionadas. Incluye la descripción de los sistemas de comunicaciones de fibra óptica y explica la teoría de la fibra óptica basada en la obra titulada “Sistemas de Comunicaciones Electrónicas” de Tomasi Wayne. Con respecto al capítulo posterior, elabora los cálculos de atenuación y pérdida, también realiza estimaciones de la potencia de recepción y de tiempos de un bit. Como conclusiones señala que el nivel de energía del láser emisor debe ser igual o superior en, por lo menos, 59.09 decibelios al nivel de receptor.

2.2 Selección de Variables

Para el desarrollo de esta tesis, se establecieron las siguientes variables:

2.2.1 Variable independiente:

- Sistema de comunicaciones con fibra óptica para el control de un horno de planta cementera.

2.2.2 Variables dependientes:

- Desarrollo de un esquema de red y descripción de la topología en las comunicaciones de fibra óptica para el control de un horno en una planta cementera.
- Desarrollo de un enlace óptico en el detalle en las comunicaciones de fibra óptica para el control de un horno en una planta cementera.

2.3 Bases teóricas

Esta investigación se basa en la teoría en los métodos de transmisión a través del envío de señales de pulso de luz y sus elementos correspondientes. Para Wayne (2003) un sistema de comunicación de fibra óptica se define como “conjunto que usa luces como portador de información y que en aplicaciones tanto industriales como mineros puede operar con sistemas de control automatizados que pueden comunicarse a través de protocolos” (p. 412).

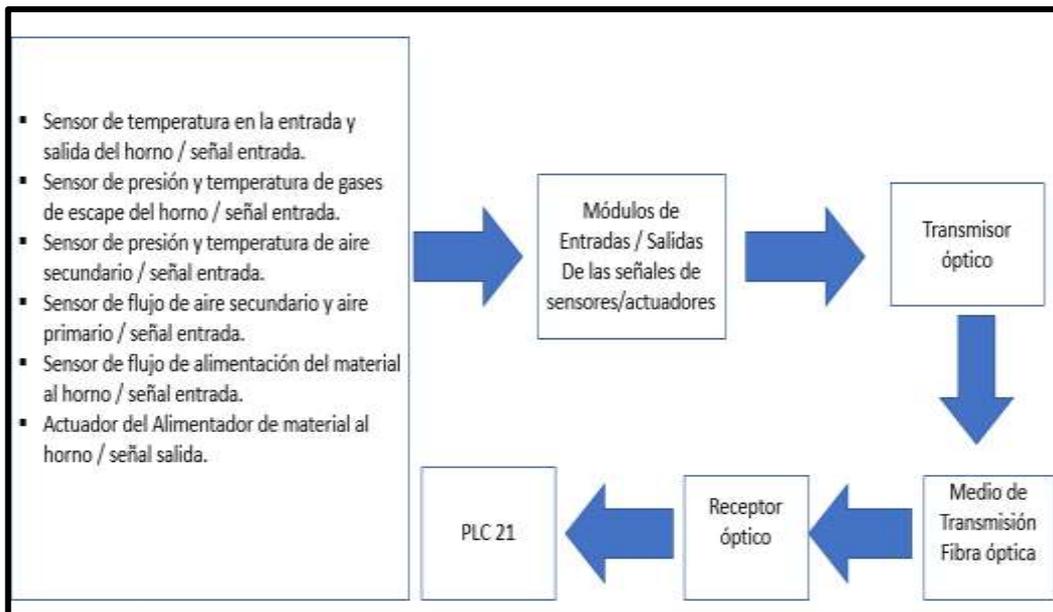
Estos sistemas de comunicaciones al utilizar la fibra óptica presentan ventajas con respecto a otros que utilizan cable de par trenzado no apantallado que se abrevia (UTP) o cable coaxial, tales como:

- Inmunidad a la interferencia por estática: Los cables de fibra óptica son exentos al ruido que provoca la inducción electromagnética (EMI) debido a motores eléctricos, lámparas incandescentes, rayos, etc. Además, se debe a que los cables ópticos no son elementos que conducen corriente eléctrica, ya que el ruido eléctrico no altera la energía en los cables de fibra óptica.
- Inmunidad a la diafonía: Los cables ópticos son inmunes a la diafonía entre cables adyacentes, debido a la inducción magnética y no tienen campos magnéticos asociados a ella.
- Mejor capacidad de transferencia: Se deben resaltar que tiene mayor capacidad para la propagación de gigabits/segundos a través de varios kilómetros, lo cual permite asociar millones de canales individuales de datos y de voz con un solo cable.
- Seguridad: Tienen más facilidad de instalar que los cables de par trenzado sin blindaje o cables coaxiales. Además, no son conductores de energía eléctrica y no se relacionan voltajes ni corrientes eléctricas. Incluir que se pueden usar cerca de gases, sin tener la preocupación que puedan causar explosiones o incendios, por lo que son muy ligeras que otra clase de cables que transmiten información.
- Economía: En cuanto al precio de los cables de fibra es similar al costo de los coaxiales. Además, cabe resaltar que los cables de fibra óptica presentan menores pérdidas por lo que requieren menos equipos amplificadores. Esto se traduce a menores costos de instalación y del sistema en general, así como a mayor confiabilidad.

Con respecto al esquema general de sistema de comunicación de fibra óptica se divide en 3 componentes: el transmisor, receptor y la fibra óptica. A continuación, se muestra en la Figura 1 un bosquejo simplificado.

Figura 1

Diagrama básico del sistema de comunicaciones de fibra óptica.



Nota. Elaboración propia.

Según Gerónimo (2015) explica lo siguiente:

El transmisor se compone de un conversor electro-óptico que envía varios pulsos de luz y la transmite hacia el receptor a través de un medio de transmisión. Este generador luminoso se puede modular mediante una señal analógica o digital. Indicar que se debe agregar un elemento convertidor voltaje a corriente que se abrevia (A/C) en la interface. El convertidor A/C sirve como una interconectividad eléctrica entre los circuitos de entrada y la fuente óptica. Ésta puede ser un diodo emisor de luz

El receptor se encarga de recibir los pulsos ópticos por lo cual contiene un dispositivo acoplador y el detector fotoeléctrico que se encarga de transformar la energía lumínica en energía eléctrica.

Tipos de fibra óptica

Existen tres clases que se utilizan actualmente. Éstas se forman con vidrio, material moldeable o una combinación de ambos:

1. Núcleo y revestimiento de plástico.
2. Núcleo de vidrio con forro de material polímero (normalmente se le llama fibra plastic-clad silica).
3. Núcleo y cubrimiento de vidrio (también recibe el nombre de sílice revestida)

con sílice). (p. 21)

Según Grazzini (2021) “la luz en el espacio libre viaja, aproximadamente, 300,000,000 m/s, sin embargo, su velocidad se reduce al cruzar la frontera de un elemento a otro más denso, el rayo de luz se refracta o se difracta hacia lo normal” (p. 47). A continuación, se muestra la Ecuación 1 donde la equivalencia es la siguiente:

$$\lambda = c/f \quad (\text{Ecuación 1})$$

Ecuación 1: Relación entre longitud de onda, velocidad de la luz y frecuencia.

Donde:

λ = longitud de onda (metros/ciclo)

c = velocidad de la luz (300,000,000 metros/segundo)

f = frecuencia (hertz)

La cantidad de desviación sea refracción o difracción que se da en el límite de ambos materiales de diferentes densidades se puede deducir mediante el índice de refracción de los materiales. En otras palabras, es la correlación de la velocidad de propagación de un rayo de luz en zona libre, en un determinado material. En la siguiente Ecuación 2 se señala la correspondencia respectiva:

$$n = c/v \quad (\text{Ecuación 2})$$

Ecuación 2: Relación correspondiente de índice de refracción.

Donde:

n = índice de refracción.

c = velocidad de la luz en el espacio libre (300,000,000 m/s).

v = velocidad de la luz en determinado material (m/s).

En el caso de que se presenten diferentes medios aclara que la forma en que un rayo lumínico llega a refractar y encontrarse en el límite de dos materias transmisoras con índices de refracción divergentes, por lo que establece la fórmula de la refracción de la luz. A continuación, se muestra la Ecuación 3 la ley de Snell:

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \cos \theta_2 \quad (\text{Ecuación 3})$$

Ecuación 3: Ley de Snell.

Donde:

n_1 = índice de refracción del material 1 (adimensional)

n_2 = índice de refracción del material 2 (adimensional)

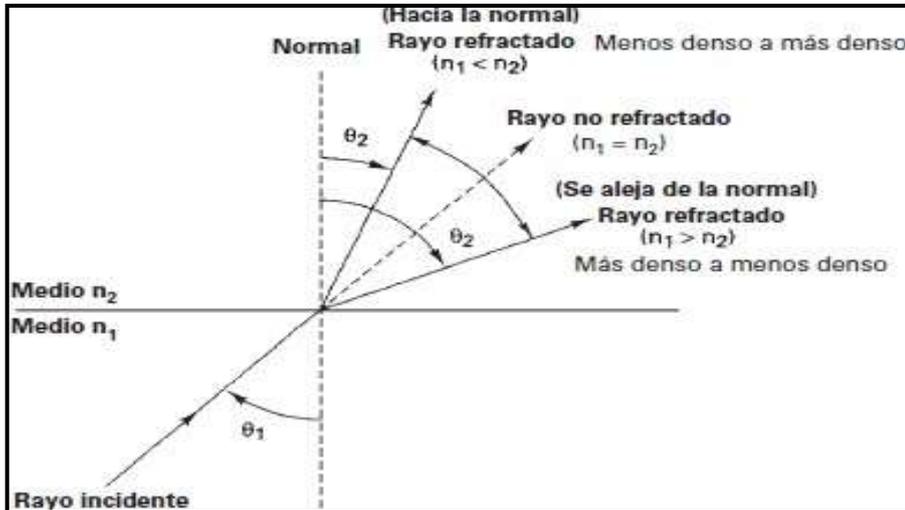
θ_1 = ángulo de incidencia (grados)

θ_2 = ángulo de refracción (grados)

En la Figura 2 se indica de manera gráfica la ley de la contracción. En el punto frontera se puede refractar el rayo que incurre hacia la normal, o separándose de ella, dependiendo si n_1 es inferior o superior que n_2 .

Figura 2

Modelo de la ley de Snell.

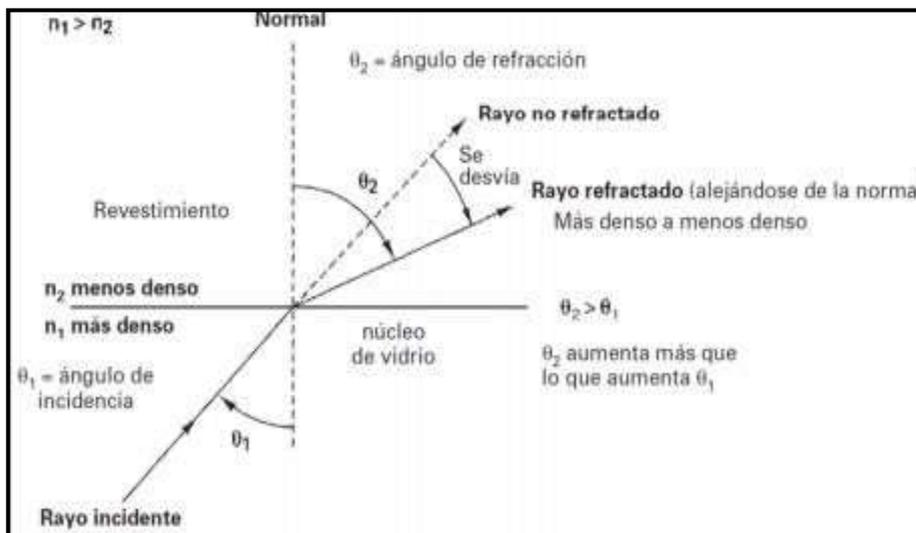


Nota. Tomasi Wayne (2003).

En la Figura 3 muestra cómo el punto luminoso se refracta al traspasar de un componente a otro con un diferenciado índice de refracción.

Figura 3

Haz de luz que se refracta alejándose de la normal.



Nota. Tomasi Wayne (2003).

Según Tomasi (2003) la arista crítica se especifica como:

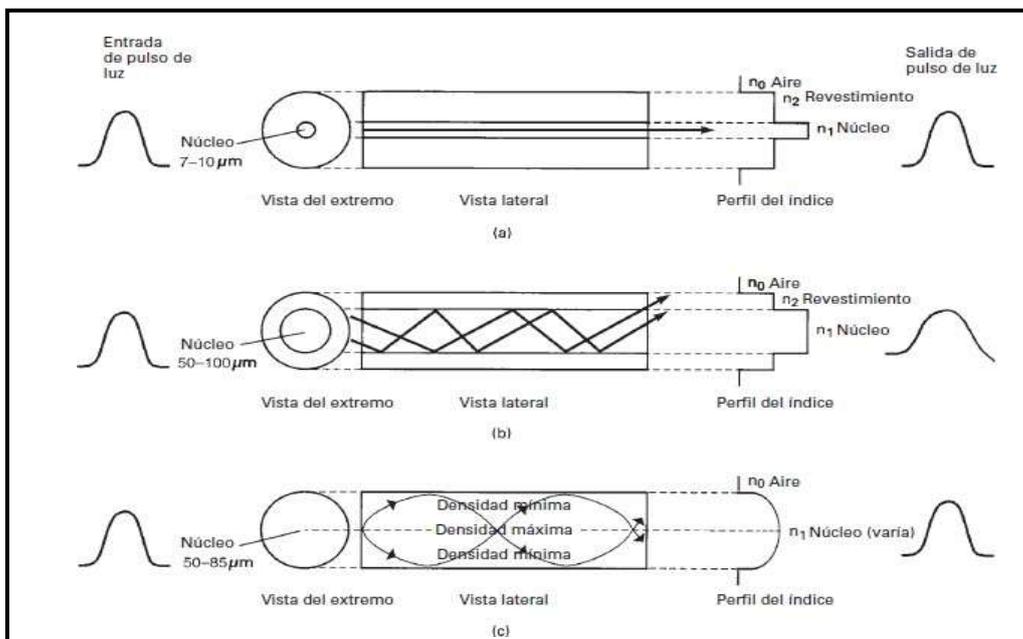
El ángulo de incidencia ínfimo en la que un haz luminoso puede cruzar a la frontera entre dos medios y tener un ángulo refracción de 90° o mayor. Este concepto sólo se emplea cuando el rayo lumínico pasa de un medio más denso a uno de menor cantidad. Si el ángulo de refracción es noventa grados o menor, la superficie luminosa no puede penetrar en el elemento que presenta menor cantidad de masa en relación a su volumen. Como resultado, se ocasiona la reflexión total en la interfaz, y el ángulo de reflexión es igual al ángulo de incidencia.

Además explica que el cable de fibra óptica es una guía de onda en la cual la información que permite la extensión de señales de información mediante portadores lumínicos (luz) llamados modos de luz, el cual está compuesto por dos vías transparentes de diferente indicador de reflexión, un núcleo y un recubrimiento que lo envuelve.

Existen modos de transmisión y del perfil de índice de la fibra. En los modos de propagación existen modo único o unimodal y modo múltiple o multimodal. En la siguiente Figura 4 se muestra las clases que existen en su dispersión. (p. 441)

Figura 4

Perfiles de índice en el núcleo.



Nota. Tomasi Wayne (2003).

La clasificación de la fibra óptica según el número de modos se divide en dos tipos: la fibra óptica monomodo y la fibra óptica multimodo. La primera, es útil en aplicaciones de regular y largo alcance o cuando se requiere transmitir información a grandes distancias y alta capacidad usando multiplexado denso por división en longitudes de onda y que su abrevia (WDM), además presenta una relación entre núcleo y revestimiento igual a 9/125 micrómetros que abreviado es (um).

La segunda clase, es útil para aplicaciones de corto y mediano alcance. Según la recomendación G.651 de la ITU-T señala que el diámetro entre el núcleo y revestimiento que debe presentar son de 62.5/125 um y de 50/125 um.

Uno de los atributos más importantes en los filamentos de fibra de vidrio es la disminución de energía lumínica, la cual es llamada con frecuencia atenuación. Es la degradación de la potencia a lo largo de la longitud total en un enlace óptico. En la Ecuación 4 se muestra la fórmula que expresa la atenuación.

$$A \text{ (dB)} = 10 \log \frac{P_{sal}}{P_{ent}} \quad (\text{Ecuación 4})$$

Ecuación 4: Pérdida total de potencia en un cable de fibra óptica.

Donde:

A(dB) = reducción total de potencia (atenuación)

P_{sal} = potencia de salida del cable (watts)

P_{ent} = potencia de entrada al cable (watts)

En la siguiente Ecuación 5 se expresa la potencia en watts medida a una cierta distancia a una fuente lumínica.

$$P = P_t \times 10^{-A \times l / 10} \quad (\text{Ecuación 5})$$

Ecuación 5: Cálculo de la potencia medida a una determinada distancia.

Donde:

P = valor medido de la potencia (watts)

P_t = valor de la potencia de transmisión (watts)

A = Atenuación en el cable (dB/km)

l = longitud del cable (km)

De igual forma, se expresa en decibelios:

$$P(\text{dBm}) = P_{\text{ent}}(\text{dBm}) - A \cdot l \quad (\text{Ecuación 6})$$

Ecuación 6: Cálculo de la potencia medida en dB.

Donde:

P = valor medido de la potencia (dBm)

P_{ent} = potencia de entrada (dBm)

A = pérdidas de potencia en el cable (dB/km)

l = longitud del cable (km).

En la siguiente Tabla 1 se muestra la potencia de salida para distintos valores de pérdida en decibelios.

Tabla 1

% de potencia de salida en función de la pérdida en dB.

Pérdida (db)	Potencia de salida %
1	79
3	50
6	25
9	12.5
10	10
13	5
20	1
30	0.1
40	0.01
50	0.001

Nota. Tomasi Wayne (2003).

Según Tomasi (2003) aclara lo siguiente:

Existen 2 clases de fuentes ópticas moduladas que se emplean en la actualidad.

Un diodo emisor de luz (por sus siglas en inglés LED) es un dispositivo de unión p-n, la cual contiene como compuesto químico el arseniuro fosfuro de galio que se abrevia (GaAsP) o arseniuro de aluminio- galio (AlGaAs).

El diodo de láser de inyección presenta un funcionamiento parecido a la primera fuente mencionada. Arriba de la corriente de umbral, un diodo láser de inyección que abreviado (ILD) oscila y se produce la emisión láser. Al pasar la corriente por un elemento de unión p-n de polarización directa, se transmite luz por emisión espontánea, a una frecuencia

determinada por la banda prohibida del material semiconductor.

2.3.1 Niveles de una red industrial

La National Business School (1999) por sus siglas en inglés (NBS) establece lo siguiente:

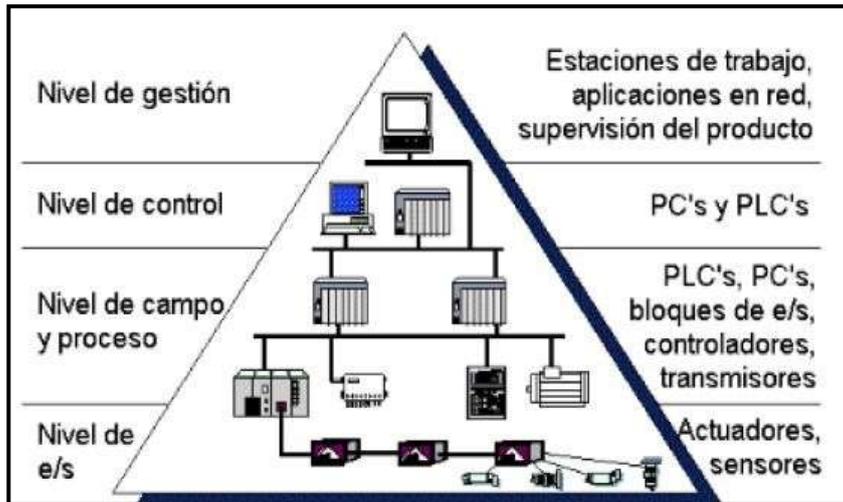
El modelo Computer Integrated Manufacturing que abreviado (CIM) determina la jerarquía de las redes industriales, define 3 etapas para las redes industriales de la siguiente manera:

- Nivel de Gestión: Categoría más elevada que se encarga de la integración de los distintos grados en una estructura organizada, e incluso de múltiples factorías. Las máquinas suelen ser estaciones de trabajo que hacen de nexo entre el proceso productivo y el área de gestión, en el cual se monitorean las producciones, ventas, o stocks, etc. Se suelen emplear en redes local area Network, wide area network y que trabajan bajo los protocolos Modbus protocolo de control de transmisión/protocolo de internet, Ethernet Industrial.
- Nivel de Control: Se realiza el enlace entre las distintas zonas de trabajo y las líneas de proceso para que sean dirigidas y supervisadas en las áreas superiores. Se ubican los autómatas de gamma superior y las computadoras enfocados a programación.
- Nivel de campo y proceso: Se enfoca en integrar los diminutos automatismos (controladores proporcional integral derivativo, robots compactos, etc.) dentro de subredes. En esta línea normalmente se emplea buses de campo tradicionales, aunque actualmente se están empleando Ethernet industrial bajo ciertas restricciones de seguridad informática.
- Nivel de sensores/actuadores: Se encuentran todos los sensores, actuadores, temporizadores, contadores y todo equipo que se disponga para la producción, son parte de este nivel fundamental para la realización de cualquier proceso que se automatiza. Por su naturaleza, este nivel se encuentra en la parte operativa, campo y su control se limita a esta zona. (p. 12)

En la Figura 5 se muestra los niveles de los equipos en forma jerárquica.

Figura 5

Niveles de una red industrial según modelo CIM.



Nota. López (1999).

2.3.2 Topología

Según la Cisco (2010) define el término topología como “la distribución física de un sistema de comunicaciones industriales o una red” (p. 487).

Existen dos categorías. La primera clase comprende la interconexión y la intercomunicación entre los diversos dispositivos y los equipos de control a través de medios de transmisión.

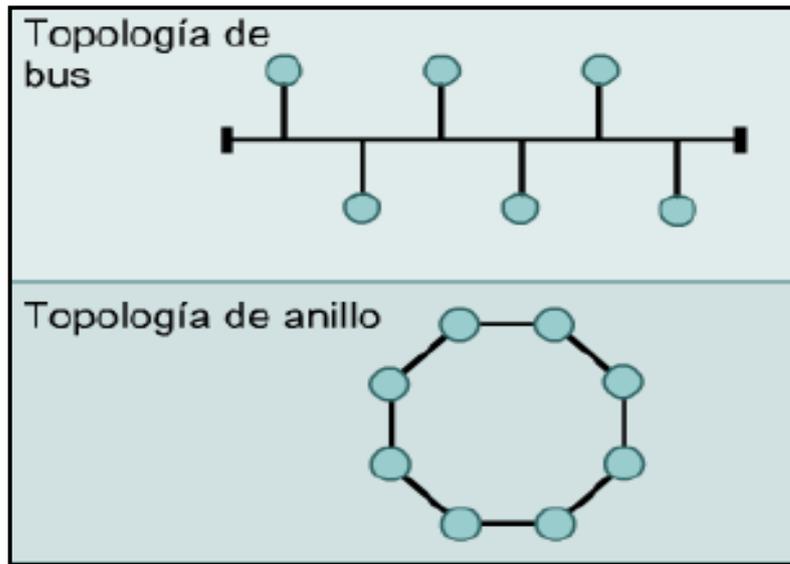
La segunda clase, especifica el aspecto en que los dispositivos acceden a los sistemas para enviar los datos. Las topologías físicas que se va utilizar en la presente tesis son las siguientes:

- Topología en anillo: La conexión de la red crean una ruta en sentido circular y de formas cerradas conectadas a él mediante enlaces punto a punto. La información se trasmite en una única dirección y el nodo principal es quien gestiona conflictos al evitar la colisión de los datagramas garantizando la protección contra la pérdida de conectividad.
- Topología en bus: Todos los elementos que constituyen la red que se conectan en serie a través de un cable o troncal. En esta tipología, las tramas que contienen información emitidas por un terminal o servidor, alcanzando a todos los demás puntos.
- Topología en línea: Los elementos se conectan una tras otra.

En la siguiente Figura 6 se representa de manera gráfica las interconexiones existentes en una red industrial.

Figura 6

Topología física de un sistema de comunicaciones.



Nota. Cisco (2010).

2.3.3 Bus de campo

Para Guerrero (2009) define al bus de campo como:

Sistema de transmisión de datos que busca la reducción tanto del cableado como de las conexiones entre los instrumentos de campo y los equipos de control en industrias. Se emplea en los lazos de control señales analógicas, aunque actualmente están siendo reemplazadas por las señales digitales las cuales presentan ventajas y beneficios muy marcadas. (p. 27)

2.3.4 Profinet

Para este trabajo de tesis se utiliza el protocolo de comunicación basado en Profinet y que la Asociación Internacional de Profibus&Profinet (PI) califica a esta tecnología con muchos beneficios al utilizar la fibra óptica ya que presenta ventajas muy diferenciadas frente a otros medios de transmisión. Según PI (2002) señala que este estándar “es la una combinación lógica de Profibus DP y de ethernet industrial” (p. 4).

Cabe resaltar que se extiende como el estándar abierto de Ethernet Industrial según las normativas IEC 61784-2. Presenta las siguientes características:

- Utiliza el protocolo TCP/IP e incluye estándares de la tecnología e información.
- Permite integrar de forma equilibrada equipamientos con bus de campo.
- Trabaja en tiempo real verdadero que abreviado (IRT).
- Estándar abierto para aplicaciones en automatización descentralizada.

- Arquitectura basada en relación productor-consumidor.

Además, la PI indica que existen varios estándares incluidos; pero los más resaltantes son los siguientes:

Profinet Input/output: Ofrece una versatilidad, sencillez de configuración, además de establecer una tecnología de conmutación que ofrece a cualquier estación acceder a la red y así permitir a éste un uso mucho más efectivo gracias a la capacidad para transmitir los datos simultánea de varias estaciones. El modo dúplex del sistema Switched Ethernet permite el envío y recepción simultáneamente a una velocidad 100 Mbps.

En comparativa con otros protocolos existe una conservación histórica tales como data de entrada/salida (acceso a datos de periferia a través de direcciones lógicas), registros (almacenamiento de parámetros) e integración en un sistema (notificación de eventos, buffer de diagnóstico).

1. Profinet de redundancia de medios (MRP): Se utiliza para mejorar la disponibilidad de los recursos y establece los principios básicos para la reestructuración en caso de sobrellevar un fallo cuando la red dispone de una distribución redundante.
2. Profinet en tiempo real (RT): Tiene como propósito la transferencia de data en la que tienen baja latencia y baja fluctuación.
3. Profinet en tiempo isócrono (IRT): Proporciona que el desplazamiento de la información sea menor a 1 microsegundo.

Las tecnologías que presenta son las siguientes:

- Fast ethernet: En esta tecnología se envían datos a una velocidad de 100 Megabit/seg.
- Industrial ethernet: Es una técnica que permite transportar mensajes a prueba de fallos en un entorno agresivo y difícil. Además de usar componentes ethernet estándar.

Se indica que utiliza tres tipos de servicio de comunicación:

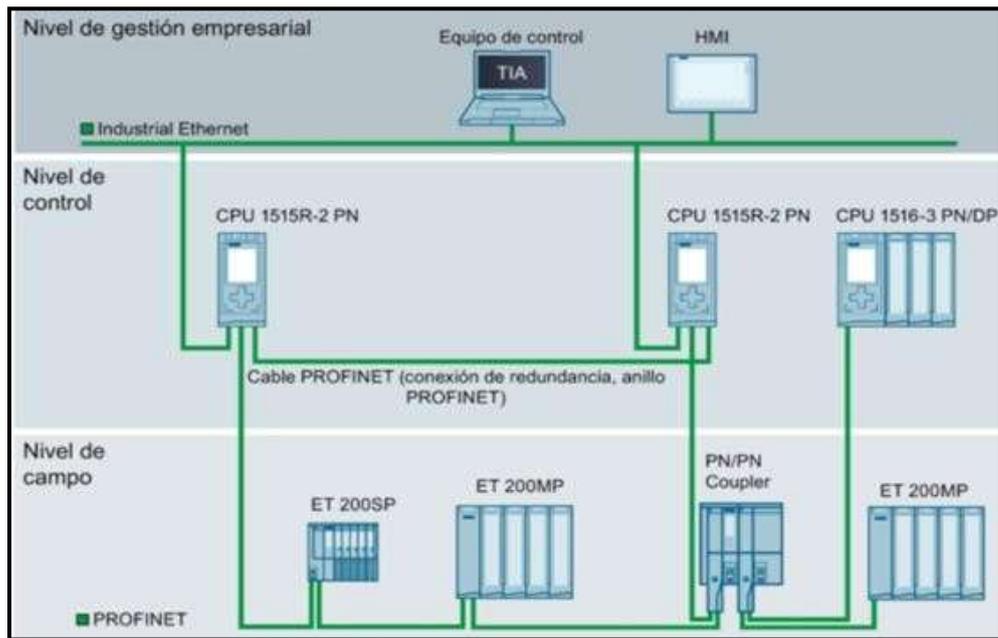
- Standard TCP/IP: Se refiere al uso de funciones que son no deterministas, como parametrizaciones, emisiones de audio/video y transferencias a sistemas de tecnología e información de nivel superior.
- Real Time: Se dispone de un Ethertype especial, por ello los tiempos de retardos se encuentran en el rango de 1 a 10 milisegundos.
- IRT: La jerarquización de la señal y la conmutación que ha sido programado proporcionan un sincronismo de alta exactitud para el dominio del movimiento.

Las topologías más empleadas se describen a continuación:

- Estrella: Se conecta las estaciones a un switch o un componente de distribución. Se agrega que todos los equipos se encuentran enlazados a un dispositivo de conexión central.
 - Línea: Las estaciones que participan en la comunicación se conectan una tras otra.
- En la siguiente Figura 7 se muestra la arquitectura estándar de un sistema profinet.

Figura 7

Arquitectura de un sistema profinet



Nota. dlscrib.com-pdf-explicar-protocolo-profibus-dp-yprofinetpdf4400c56e0a22.pdf

2.4 Parámetros principales

Para una eficiente operación en el proceso de horno se presentan los parámetros principales:

- Temperatura del material al ingreso y salida del horno.
- Temperatura de gases de salida del horno.
- Presión de gases de salida del horno.
- Temperatura y presión de aire secundario.
- Flujo de aire primario y aire secundario.
- Flujo de alimentación del material al horno.

Debido a su vital importancia deben permanecer en constante medición y evaluación para lograr un control del horno rotatorio en la línea de producción para la obtención del clínker. Por ello es preciso indicar que se van a utilizar los siguientes instrumentos y que

van a enviar señales.

- Sensor de temperatura del material al ingreso y salida del horno.
- Sensor de temperatura y presión de gases de salida del horno.
- Sensor de temperatura y presión de aire secundario.
- Sensor de flujo de aire primario y aire secundario.
- Sensor de flujo de alimentación del material al horno.

CAPÍTULO III: DISEÑO DEL SISTEMA DE COMUNICACIONES

3.1 Descripción general

En este capítulo se realizó el diseño del sistema de comunicaciones basado en fibra óptica con el protocolo de comunicación industrial Profinet. Por ello se aplican métodos empíricos que permiten integrar la práctica y la investigación. Se inició como punto de comienzo para el desarrollo de este acápite, la recopilación de los requerimientos ya que esta información nos permitió determinar el alcance.

Por otro lado, es importante la descripción de las características técnicas que presenta el horno rotatorio en su funcionamiento, lo cual nos permitió tener una mejor referencia y así describir los parámetros principales para lograr una operación del proceso de forma infalible.

Luego con el levantamiento de la información recopilada, continuó con la etapa de diseño, la cual se segmenta en tres partes. La primera parte abarca el plano de la planta de cemento y esquemas principales relacionado a las llamadas zonas de clinkerización en el funcionamiento de los hornos rotatorios.

En la segunda parte se desarrolló las topologías utilizadas para la interconexión de los módulos de entrada/salida de los transmisores y también la conexión en cada tablero de periferia descentralizada de cada sala a mencionar.

En la tercera parte se describió los elementos involucrados. Por eso, se mencionan los medios físicos de transmisión y los equipos de la red.

En una planta de fabricación de cemento los principales procesos que integran son extracción de caliza, trituración de caliza, calcinación de caliza y dosificación de Clinker. Primero, desde las canteras se utilizan técnicas de explotación y luego de extraer la materia prima son trituradas en una chancadora cónica. La materia prima es llevada en fajas transportadoras hacia una chancadora secundaria, la cual se encarga de reducir su tamaño de acuerdo al perfil granulométrico requerido.

Luego pasa a la cancha de pre homogeneización. El material se acopia para recibir minerales de hierro y caliza correctiva alta y ser dosificado, lo cual esto es dependiendo de qué tipo de cemento se necesita.

Después es llevada a un molino de crudo, la cual se pulveriza para pasar al silo de homogenización. A continuación, se lleva a la pre calcinación en un intercambiador de calor en contracorriente se calcinan. La mezcla pre calcinada se lleva a un horno rotatorio que a altas temperaturas se transforma en clínker, y continua en el proceso con un

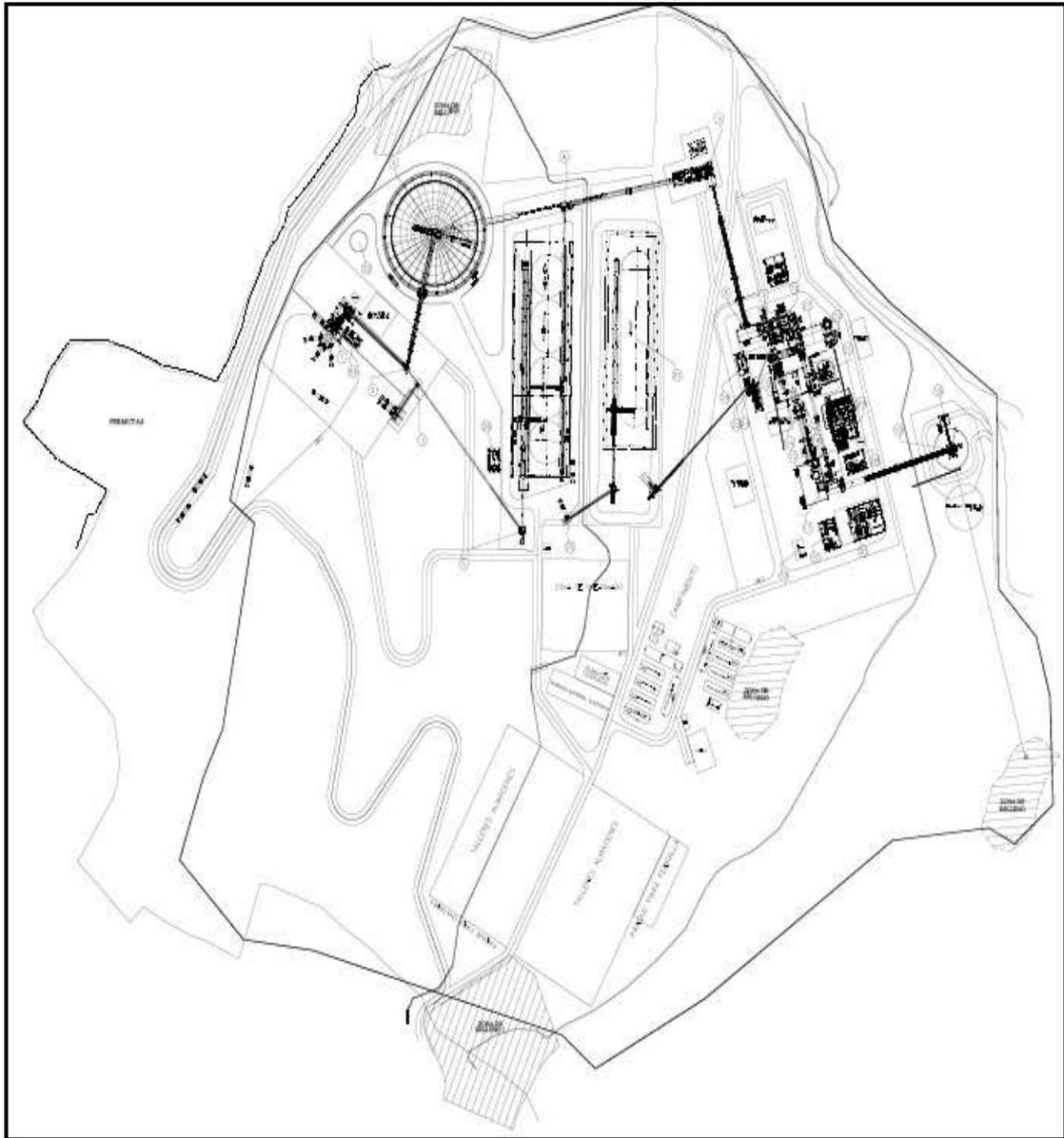
enfriamiento rápido.

En la molienda el producto se muele agregando una porción de yeso (sulfato de calcio), lo que determina el tipo de cemento. Finalmente, en la zona de despacho se empaca el producto en bolsas y a granel.

En la siguiente Figura 8 se muestra el plano de una planta cementera.

Figura 8

Plano de la Planta de Cemento.



Nota. Elaboración Propia

Es preciso indicar que según la experiencia se dividen en 5 zonas las etapas de cocción del clínker dentro de los hornos rotatorios. Segura, transición, ingreso y salida de sinterización y zona de enfriamiento. En la siguiente Tabla 2 se muestra la temperatura de material en las zonas que se aplican.

Tabla 2

Zonas del proceso de cocción del Clínker en un horno rotatorio.

Subdivisión del horno	Temperatura de material aproximadamente	
	Inicio (°C)	Final (°C)
Segura	850	900
Transición	900	1050 - 1150
Ingreso de sinterización	1050 - 1150	1400 - 1500
Salida de sinterización	1400 - 1500	1350 - 1400
Enfriamiento	1350 - 1400	1250 - 1350

Nota. HOLDERBANK AG (2000)

En la Tabla 3 se muestra las características técnicas del horno rotatorio.

Tabla 3

Características técnicas del horno rotatorio.

Descripción	Representación	Cantidad	Unidad
Longitud	L	60	metros
Diámetro interior de la carcasa	D	5,25	metros
Capacidad de producción	C.P.	5500	TM/día
Velocidad angular	n	2,44	RPM
Relación L/D	L/D	11,43	
Carga específica del volumen	CeV	5,33	tpd/m ³
Pendiente	S	3,5	%
Tiempo de retención	T	27,04	minutos
Porcentaje de llenado	% llenado	13,77	%
Velocidad periférica	Vp	0,68	m/s

Nota. HOLDERBANK AG. (2000)

3.2 Selección de elementos del sistema de comunicaciones

Se tiene en cuenta la comparación técnica para la selección de cada componente que está integrado y que además permite especificar las características funcionales:

3.2.1 Sensor para la medición de la temperatura en ingreso y salida del horno

En la Tabla 4 se detalla un cuadro comparativo de sensores que realizan la medición de la temperatura en el ingreso y salida del horno rotatorio de la planta de cementos. Se presenta la marca ABB modelo SensyTemp TSH200, marca Endres Hausser tipo S y marca New Flow tipo S.

Tabla 4

Cuadro comparativo de sensor de temperatura en ingreso y salida del horno

	Termopar	Termocupla tipo S	Termopar tipo S
Especificaciones	SensyTemp TSH200	modelo TAF16- 31Q6D03PRD	New Flow
Tecnología	Termopar	Termopar	Termopar
Rango de temperatura	0 °C a 1800 °C	0 °C a 1500 °C	-200 °C a 1700 °C
Integración de transmisor a salida de sensor	Hart, Profibus PA, FF (4 a 20 mA)	Hart, Profibus PA (4 a 20 mA)	No tiene

Nota. Elaboración propia.

3.2.2 Sensor de flujo de alimentación de material al ingreso del horno

En la siguiente Tabla 5 se detalla un cuadro comparativo de sensores de la marca Siemens serie WF200, marca MaxxFlow tipo másico y marca Schenck Process.

Tabla 5

Cuadro comparativo de sensor de flujo de alimentación de material al ingreso del horno

	Caudalímetro Sitrans WF200	Caudalímetro MaxxFlow HTC	Caudalímetro Schenck Process
Flujo volumétrico de material	A granel hasta 900 t/h	A granel hasta 300 t/h	A granel secos y fluidez de 30 a 600 t/h

Montaje	En línea	En línea, con brida, en tubo de medición	En línea
Señal de salida	Señal de 4-20 mA	4-20 mA, RS485	No tiene

Nota. Elaboración propia.

3.2.3 Actuator para el ingreso de material en el horno

En la siguiente Tabla 6 comparativo se detalla los actuadores de la marca REXA Xpac Serie 3, la marca KINETROL modelo 204-100 y de la marca FESTO serie KDFP-DFPD.

Tabla 6

Cuadro comparativo de Actuator para activar el ingreso de material en el horno

Especificaciones	REXA Xpac Serie 3	KINETROL modelo 204-100	FESTO serie KDFP- DFPD
Par de Salida	282 Nm to 169,477 Nm	Par de salida de 12760 Nm (a 7 bar)	Par de 10 a 2300 Nm
Ángulo de giro	90°, 120 °, 180°, or 270°	De 80° a 100°	90°
Señal de salida	4 - 20 mA HART Compatible	4 a 20 mA	No tiene

Nota. Elaboración propia.

3.2.4 Controlador lógico programable para la gestión maestra

El controlador lógico programable emplea varios módulos para que cumpla diversas funciones específicas y así permitir que la información proveniente de los instrumentos y equipos instalados dentro de la planta sea recibida y controlar procesos a través de la activación actuadores En la siguiente Tabla 7 comparativo se detalla los PLCs de la marca Allen Bradley modelo 5580, marca Siemens de la serie S7-400 y marca Schneider Electric modelo Modicon M340.

Tabla 7*Cuadro comparativo de PLC para la gestión maestra*

Especificaciones	Allen Bradley Control Logix 5580	Siemens serie S7- 400	Schneider Electric modelo Modicon M340
Fuente de Alimentación	24 VDC	120/230 VAC o 24 VDC	24 V DC
Memoria usuario	40 MB	40 MB	4 MB
Protocolo de comunicaciones	EtherNet/IP, ControlNet, DeviceNet	Profibus, ASI, Modbus o Modbus TCP/IP	Ethernet TCP/IP, TCP Modbus, Ethernet TCP/IP

Nota. Elaboración propia.**3.2.5 Pantalla interfaz hombre-máquina**

A continuación, se detalla la Tabla 8 el comparativo de la pantalla interfaz hombre-máquina de la marca Allen Bradley Panel View Plus 7 Standard, marca Siemens modelo KTP 900 y la marca Schneider Electric modelo HMIDT551.

Tabla 8*Cuadro comparativo de pantalla HMI*

Especificaciones	Allen Bradley Panel View Plus 7	Siemens KTP 900	Schneider Electric HMIDT551
Tensión de alimentación	24 V DC	24 V DC	12 a 24 V DC
Potencia de consumo	50 watts máximo	5.5 watts	6.5 Watts
Comunicación	Interfaz PROFINET	Interfaz PROFINET	No tiene

Nota. Elaboración propia.

3.2.6 Servidores para el monitoreo y supervisión de red de campo

En la Tabla 9 comparativa se detalla los servidores de la marca HPE ProLiant ML350 Gen 10, la marca Siemens IPC847D y de la marca IEIGRAND-BDE-30B.

Tabla 9

Cuadro comparativo de servidores para monitoreo y supervisión de red de campo

	Servidor HPE	Servidor Simatic	Servidor marca
Especificaciones	ProLiant ML350 Gen 10	IPC847D	IEI GRAND-BDE- 30B
Fuente de Alimentación	Redundante con ranura flexible HPE de 500 W.	100 - 240 V AC	90 a 264 V AC
Protocolos de comunicación	Adaptador integrado 4 x 1 GbE y opción de un PCIe vertical de 1 GbE, 10 GbE, 25 GbE o 100 GbE	Ethernet 2 x 10/100/1000 Mb/s (dos RJ45) Profinet 3x conexiones RJ45, puerto compatible con CP 1616 PROFIBUS/MPI :12 Mb/s	4 x LAN (Gigabit)
Memoria	3 TB con DIMM DDR4 de 128 GB,	4 zócalos DIMM, máximo 32°GB DDR3 con 1600 MT/s SDRAM	DIMM slots: 4 Maximum memory: DDR4 128GB (32GB RDIMM x 4

Nota. Elaboración propia.

3.2.7 Cable de fibra óptica

A continuación, se detalla la Tabla 10 comparativa de cables de fibra óptica la cual debe presentar las características acordes a las normas internacionales de la Unidad internacional de las telecomunicaciones sector estandarizado telecomunicaciones en la recomendación G.651 de la marca SIEMON de línea Light System código 9GD5L012G-

T106M, marca Corning código 016TEY-13138A2G y de la marca Optronics código OPCFOIE50X12.

Tabla 10

Cuadro comparativo de cable de fibra óptica.

Especificaciones	SIEMON código código 9GD5L012G- T106M	Corning código 016TEY- 13138A2G	Optronics código OPCFOIE50X12
Número de fibras	12	16	12
Diámetro de núcleo/revestimiento	50 µm /125 µm	50 µm /125 µm	50 µm /125 µm
Atenuación máxima en 850/1300 nm	3.5/1.0 db/km	3.0/1.0 db/km	3.0/1.5 db/km
Aplicaciones de instalación	Interior/Exterior	Interior/Exterior	Interior/Exterior

Nota. Elaboración propia.

3.2.8 Switch industrial

En la siguiente Tabla 11 comparativa se detalla Switches industriales de la marca Trendnet, Siemens modelo Scalance XC-206, marca Phoenix modelo Contact.

Tabla 11

Cuadro comparativo de switch industrial.

Especificaciones	Switch Trendnet	Switch Siemens Scalance XC-206	Switch Phoenix Contact
Tensión de Alimentación	12/24/48 V DC	24 V DC	18,5 a 30,2 V DC
Velocidad de transmisión	10/100/1000 Base-T para Gigabit y Fast Ethernet	100 Mbits/s (Fast Ethernet).	10/100/1000 Mbit/s
Interfaz Profinet	Si tiene	Si tiene	No tiene

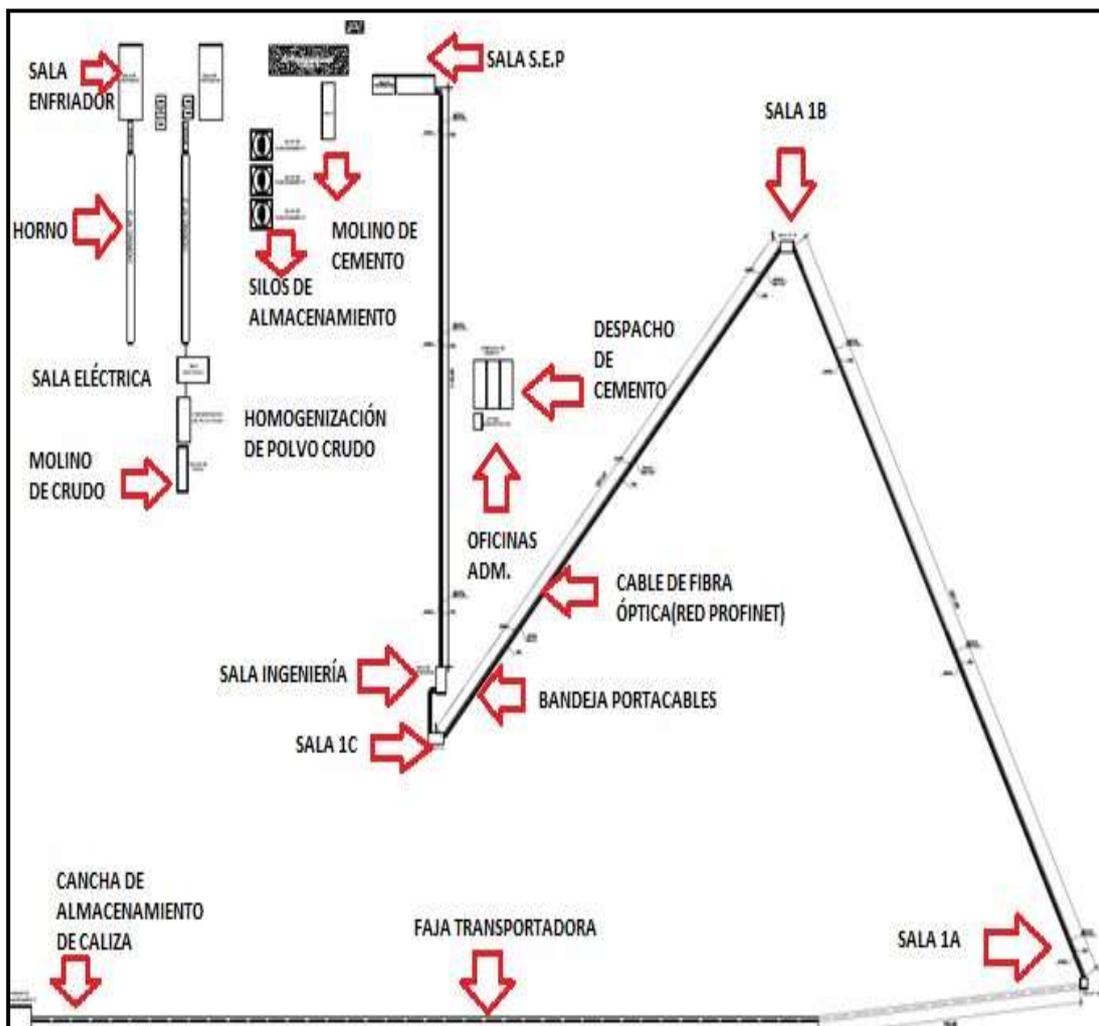
Nota. Elaboración propia.

El camino que abarcó el sistema de comunicaciones de fibra óptica tiene punto de inicio la sala 1A, luego continúa con la sala 1B, sala 1C, sala subestación eléctrica principal y termina en la sala Ingeniería. Para la ruta de cable se incluyeron las bandejas portacables, las cuales se encuentran ubicadas tanto en exterior como en el interior en las diferentes salas.

En la Figura 9 se muestra el trayecto que recorre en las distintas áreas mencionadas.

Figura 9

Trayectoria del sistema de comunicaciones de fibra óptica.

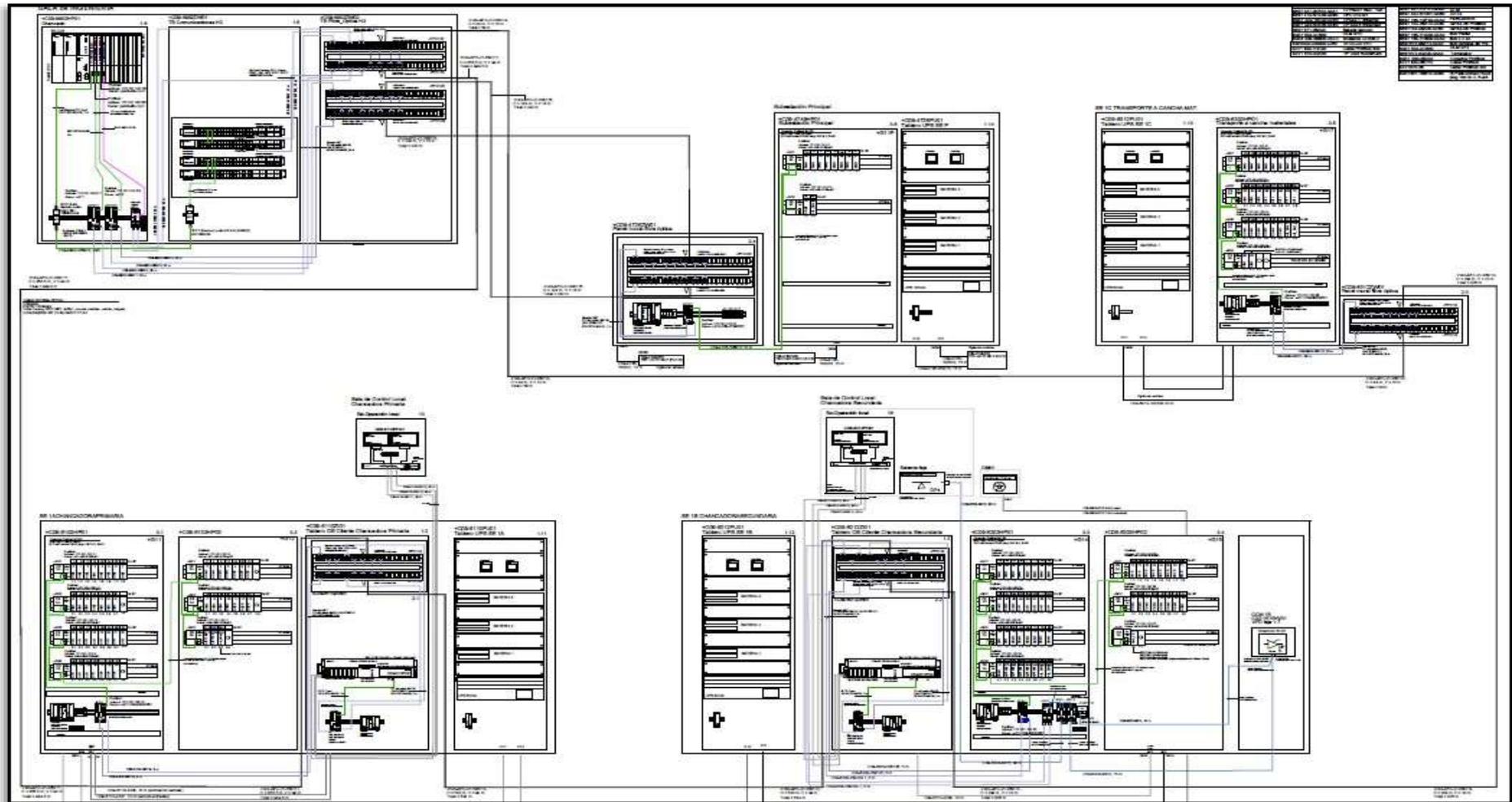


Nota. Elaboración Propia.

La Figura 10 se muestra el plano de la interconexión del cable de fibra óptica y que llega a cada patch panel (panel de conexiones) de cada sala que se ha mencionado anteriormente y que en la sala Ingeniería llega todas las señales provenientes de los módulos de periferia descentralizada de los tableros ubicados en distintas áreas dentro de la planta cementera.

Figura 10

Plano del sistema de comunicaciones de fibra óptica.



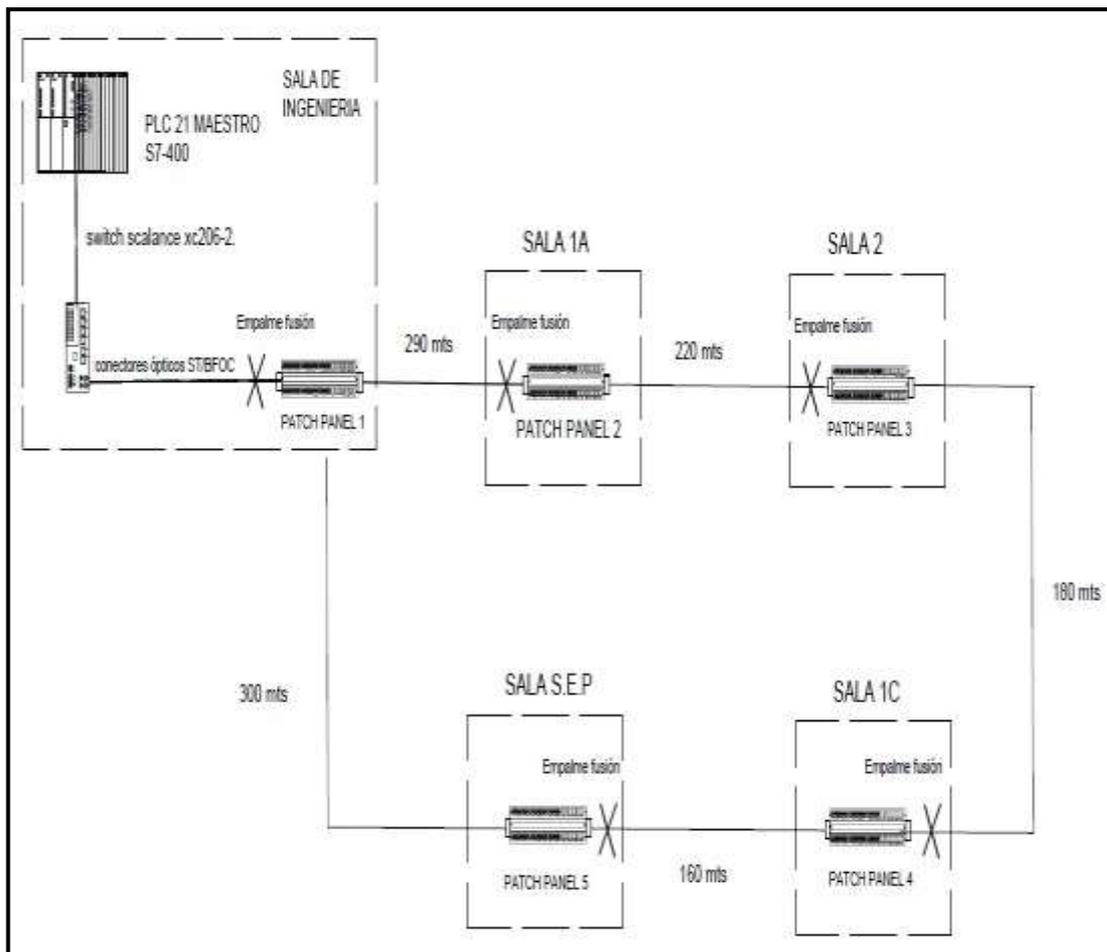
Nota. Elaboración Propia

3.3 Diseño del sistema de comunicaciones

A continuación, se muestra en la Figura 11 se muestra arquitectura del enlace óptico, desde las señales eléctricas del PLC 21 ubicada en la Sala de Ingeniería y que son convertidas por señales ópticas en el transmisor emitido por una fuente óptica LED/Class1-LASER "Eye safe" hacia su recorrido por la Sala 1A, sala 2 sala 1C, sala Sub estación eléctrica principal de manera redundante.

Figura 11

Esquema del sistema de comunicaciones de fibra óptica.



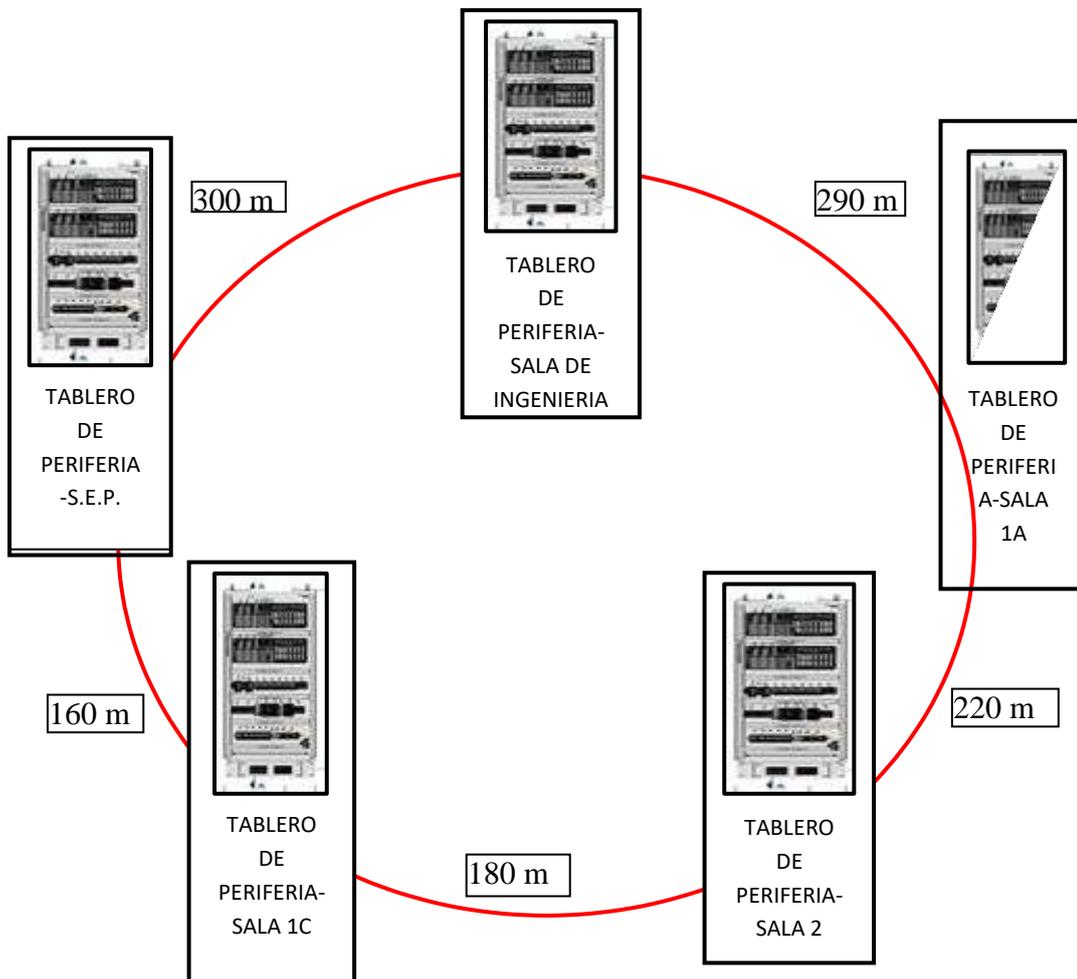
Nota. Elaboración Propia

3.4 Topología

En la presente tesis se empleó la topología anillo para conectar los módulos de entradas/salidas de cada tablero de periferia en cada sala con los controladores maestros ubicados en la sala de ingeniería. En la Figura 12 se muestra la conexión en anillo de los tableros de periferia. La línea de color rojo indica el recorrido de la fibra óptica multimodo.

Figura 12

Topología en anillo del sistema de comunicaciones de fibra óptica.



Nota. Elaboración propia.

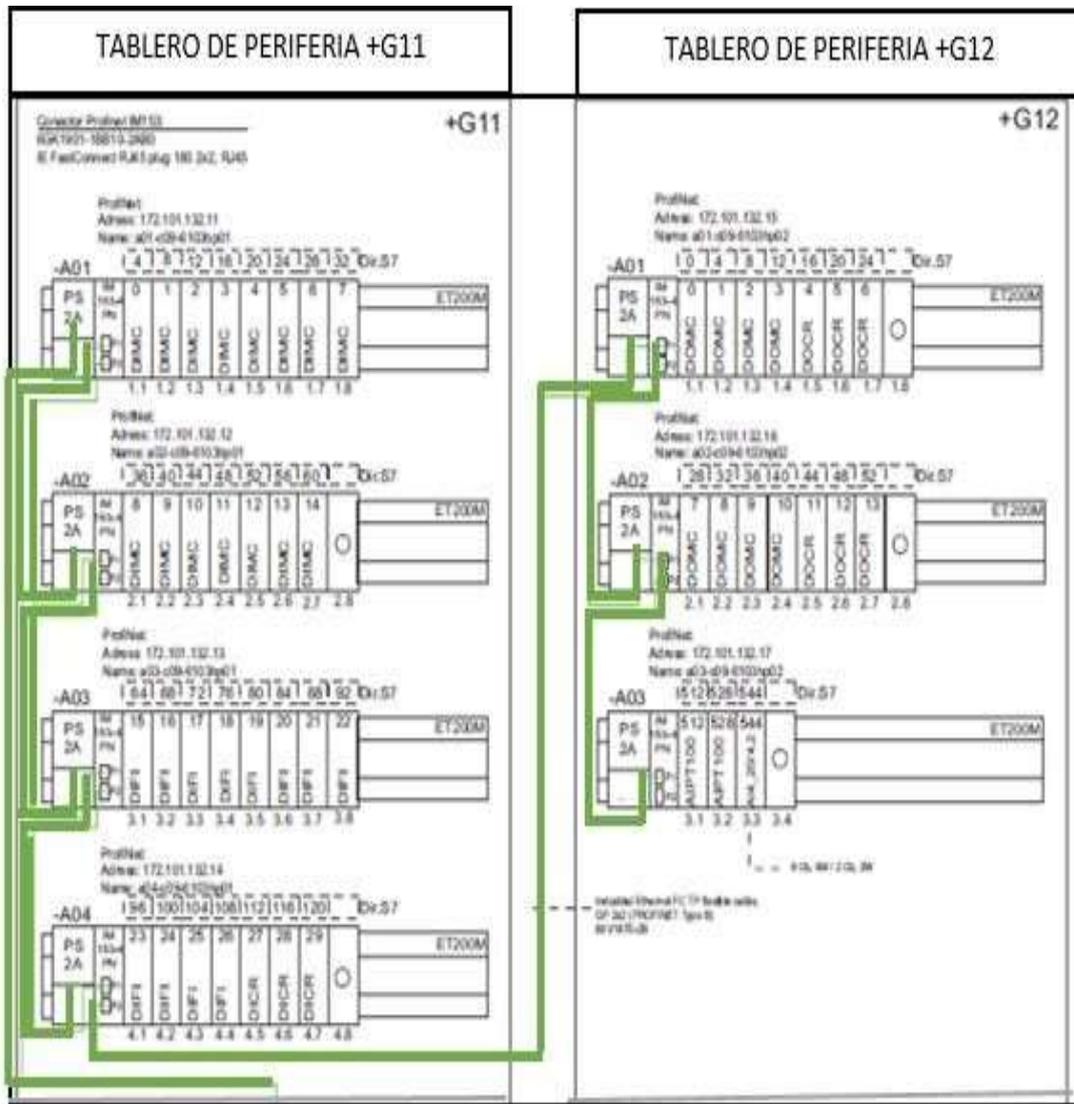
Las señales tanto analógicas como digitales de los transmisores y válvulas de control motorizado llegan a los módulos de periferia multifuncional que se abrevia (ET) 200M que se encuentran en el tablero de periferia descentralizada (TDP). Este tablero se ubica en la sala Subestación Eléctrica Principal (SEP).

Para que cada módulo de E/S de cada tablero de periferia se encuentre conectado a la red Profinet se empleó la topología en línea, es decir cada módulo de entradas/salidas va conectado en línea con el módulo de E/S adyacente. En la siguiente Figura 13 se muestra la topología en línea en los módulos de E/S del tablero de periferia +G11 y tablero de periferia +G12 que se encuentran ubicada en la Sala S.E.P.

En la siguiente Figura 13 se muestra la topología en línea en los módulos de E/S del tablero de periferia +G11 y tablero de periferia +G12 que se encuentran ubicada en la Sala S.E.P.

Figura N°13

Topología en línea de los módulos de E/S de tablero de periferia descentralizada.



Nota. Elaboración propia

Se realizó el cálculo para el enlace óptico y para ello es importante tener en cuenta los datos de las pérdidas de la bobina de fibra óptica multimodo, así como los de las atenuaciones por inserción de conectores y de empalmes por fusión. A continuación, se muestra en la siguiente Tabla 12 los datos correspondientes de la fibra óptica, transmisor y receptor:

Tabla 12

Características de los componentes del sistema de comunicaciones por fibra óptica.

Fibra óptica, tipo decable: U-DQ(ZN)(SR)H 16FOM2CC CT5.0; código: 016TEY-13138A2G	Tipo de F.O: Multimodo (OM2) 50/125 μm, Cable Corning 16FO, MPC, Int/Ext., armado metálico, unitubo, holgada U-DQ(ZN)(SR)H 16F (1X16) OM2CCCT 5.0 Pérdidas por conectores ST/BFOC:0.25 dB Pérdidas por empalme fusión: 0.15 dB Factor de atenuación lineal dB/Km: 0.43 dB (1300 nm) Longitud de la bobina de cable óptico: 1150 metros
Transmisor óptico	Conmutador industrial Scalance modelo XC206-2 Tipo de fuente: LED/Class1- LASER "Eye safe" Potencia en la salida del transmisor STP991-1: -14 dBm
Receptor óptico	Conmutador industrial Scalance modelo XC206-2 Sensibilidad del receptor RX: -32 dBm

Nota. Elaboración propia.

Cabe resaltar los siguientes términos:

1. PENT PP1 = Potencia de entrada al Patch Panel
2. PSAL PP1 = Potencia de salida al Patch Panel 1.
3. M.S = Margen de Seguridad = 2 dB.
4. α_{lineal} = Factor de atenuación lineal = 0.43 dB/Km.
5. L = longitud de cable de fibra óptica.

Analizando tramo desde el transmisor óptico hasta el receptor óptico según los datos proporcionados por el fabricante:

- $\text{PENT PP1} = \text{PTX} - \text{PFUSION} - \text{PCONECTOR} = -14 \text{ dBm} - 0.15 \text{ dB} - 0.25 \text{ dB} = -14.40 \text{ dBm}.$
- $\text{PSAL PP1} = \text{PENT PP1} - \text{PCONECTOR} = -14.40 \text{ dBm} - 0.15 \text{ dB} = -14.55 \text{ dBm}.$

- $PENT\ PP2 = PSAL\ PP1 - \alpha_{lineal} \times L - PFUSION - PCONECTOR = -14.55\ dBm$
 $- (0.43\ dB/Km \times 0.29Km) - 0.15\ dB - 0.25\ dB = -15.0747\ dBm.$
- $P\ SAL\ PP2 = PENT\ PP2 - PCONECTOR = -15.0747\ dBm - 0.25\ dB = -15.3247\ dBm.$
- $PENT\ PP3 = P\ SAL\ PP2 - \alpha_{lineal} \times L - PFUSION - PCONECTOR = -15.3247\ dBm$
 $- (0.43\ dB/Km \times 0.22Km) - 0.15\ dB - 0.25\ dB = -15.8193\ dBm.$
- $P\ SAL\ PP3 = PENT\ PP3 - PCONECTOR = -15.8193\ dBm - 0.25\ dB = -16.0693\ dBm.$
- $PENT\ PP4 = P\ SAL\ PP3 - \alpha_{lineal} \times L - PFUSION - PCONECTOR = -16.0693\ dBm$
 $- (0.43\ dB/Km \times 0.18Km) - 0.15\ dB - 0.25\ dB = -16.5467\ dBm$
- $P\ SAL\ PP4 = PENT\ PP4 - PCONECTOR = -16.5467\ dBm - 0.25\ dB = -16.7967\ dBm.$
- $PENT\ PP5 = P\ SAL\ PP4 - \alpha_{lineal} \times L - PFUSION - PCONECTOR = -16.7967\ dBm$
 $- (0.43\ dB/Km \times 0.16Km) - 0.15\ dB - 0.25\ dB = -17.2655\ dBm.$
- $P\ SAL\ PP5 = PENT\ PP5 - PCONECTOR = -17.2655\ dBm - 0.25\ dB = -17.5155\ dBm.$
- $PRX = P\ SAL\ PP5 - \alpha_{lineal} \times L - PFUSION - PCONECTOR - M.S = -17.5155\ dBm$
 $- (0.43dB/Km \times 0.3Km) - 0.15\ dB - 0.25\ dB - 2\ dB = -20.0445\ dBm.$

Si es posible asegurar la conexión desde el transmisor óptico hasta el receptor óptico según los cálculos realizados de potencia la potencia del receptor es -20.0445 dBm y la sensibilidad del receptor es -32 dBm.

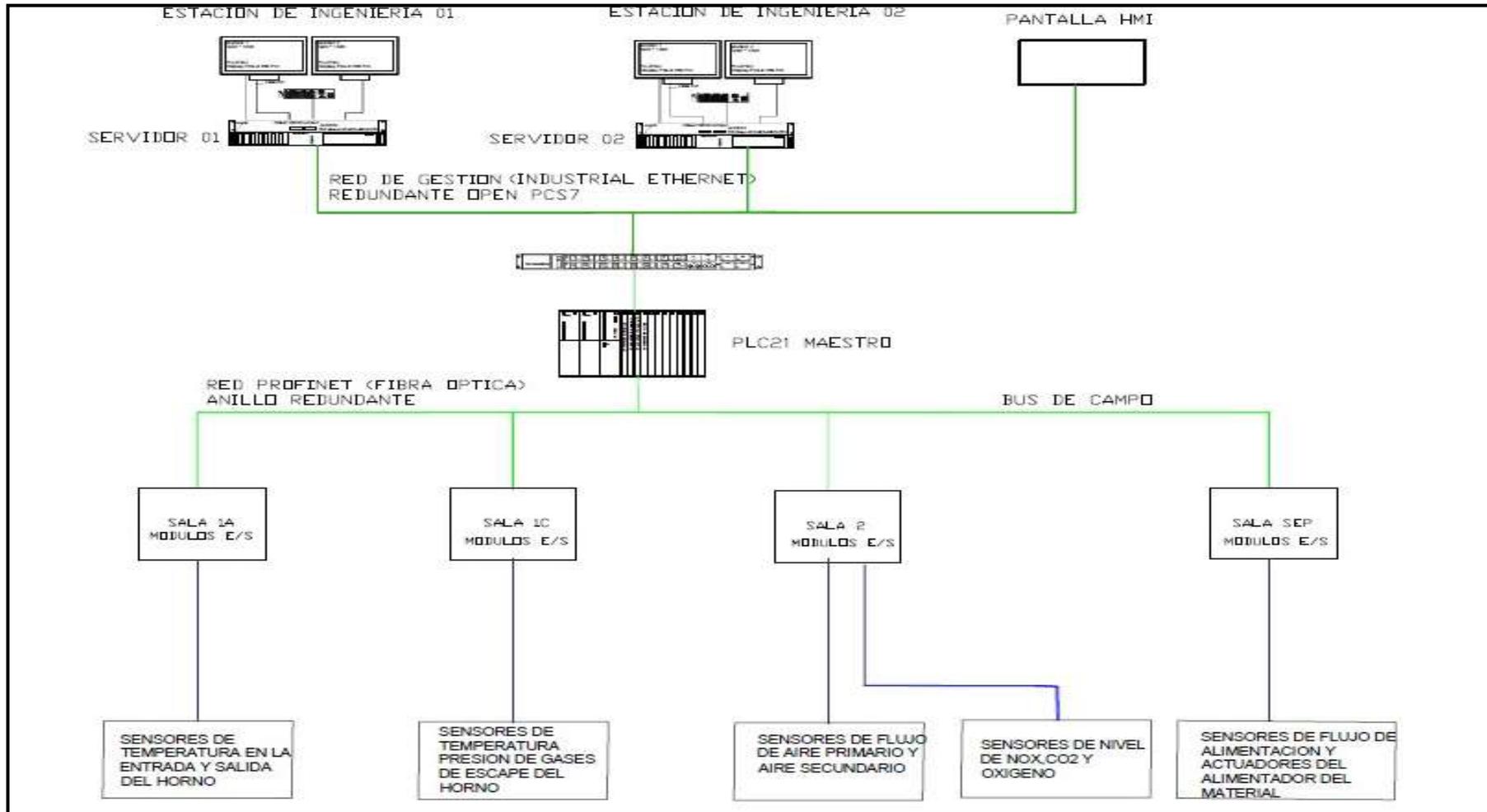
Se debe mencionar que la red de gestión utiliza Ethernet Industrial en el bus del sistema para comunicarse entre controladores y servidores, así como la pantalla interfaz hombre máquina marca SIEMENS modelo KTP 900. Además, la red de gestión está conformada por los 02 servidores, 02 estaciones de ingeniería. Esta red está soportada por la marca SIEMENS sistema PCS7 V9.0 SP2 + CEMAT V9.0 SP2.

En la automatización para instalaciones cementeras que se abrevia (CEMAT) tiene un portafolio completo para la integración en procesos de la industria del cemento, presenta excelente configuración tanto a nivel de hardware y software. Además, contiene herramientas para objetos de control (bombas, ventiladores, válvulas, etc.).

En la siguiente Figura 14 se muestra la red de gestión del sistema de comunicaciones.

Figura 14

Red de Gestión del sistema de comunicaciones de fibra óptica.



Nota. Elaboración Propia.

3.5 Elementos que conforman el diseño del sistema de comunicaciones

Se tiene en cuenta todos los dispositivos necesarios, incluso cuando se amplíe y admita nuevos elementos, es posible que interopere con otras tecnologías.

La termocupla tipo S de la marca Endress Hauser modelo TAF16-31Q6D03PRD, la cual realiza mediciones de la temperatura en ingreso y salida del horno, también realiza verificación de la temperatura en los gases de salida del horno.

En la Figura 15 se muestra la termocupla tipo S.

Figura 15

Termocupla tipo S de la marca Endress Hauser.



Nota. <https://www.es.endress.com/es/instrumentacion-campo/medicion-temperatura/sensor-temperatura-omnigrad-TAF16?t.tabId=product-specification>

Especificaciones técnicas de termocupla tipo S:

- Rango de temperatura de operación Tipo S: 0 °C a 1500 °C (32 °F a 2.552 °F)
- Máxima presión (estática) a 20 °C: 1 bar (15 psi)
- Precisión: clase 2 conforme a la Comisión Electrotécnica internacional que se abrevia (IEC) 60584.
- Forma de la Punta recta.
- Integración del transmisor de cabezal (4 a 20 mA; HART; PROFIBUS PA)

El caudalímetro másico MaxxFlow con tecnología electromagnética permite la medición de flujo volumétrico en línea que se realiza en la entrada del horno rotativo. Se debe realizar los ajustes necesarios para que su funcionamiento sea óptimo. En la siguiente Figura 16 se muestra el caudalímetro.

Figura 16

Caudalímetro másico MaxxFlow HTC.



Nota. <https://www.directindustry.es/prod/envea/product-23554-1975865.html>

Especificaciones técnicas de caudalímetro másico:

- Presión de proceso máxima: 10 bar.
- Flujo volumétrico de material a granel hasta 300 t/h.
- Señal de 4-20 mA, RS485, con salida analógica, con salida de impulsos.
- Tecnología: másico.
- Temperatura máxima: 120 °C.
- Montaje en línea, con brida, en tubo de medición.
- Material de acero inoxidable, con revestimiento cerámico.
- Tipo de protección: ATEX, IP65, resistente a la corrosión.
- Puede ser instalado en un ángulo.
- Aplicaciones en Industria de Cementos.

Actuador electroneumático marca Kinetrol modelo 204-100 permite transformar la señal de salida enviada desde un controlador en energía de aire comprimido de tal forma que realice un trabajo mecánico. Ello va permitir controlar el flujo del material de harina cruda que ingresa al horno rotatorio. En la siguiente Figura 17 se muestra el actuador electroneumático de la marca Kinetrol.

Figura 17

Actuador electroneumático marca Kinetrol.



Nota. <http://www.kinetrol.es/lng/Esp/model20>.

Especificaciones técnicas de actuador electroneumático:

- Tiene un par de salida de 12760 Nm (a 7 bar).
- Ángulo de giro de 80° a 100°.
- Volumen desplazado 33350 cm³.
- Posicionador neumático AP (3 a 15 psi).
- Posicionador electroneumático EL (4 a 20 mA).
- Muelle de retorno, para trabajar como simple efecto.

Analizador portátil de combustiones y emisiones de la marca Bacharach modelo PCA400 realiza las mediciones de oxígeno, monóxido de carbono (CO), de dióxido de azufre, de

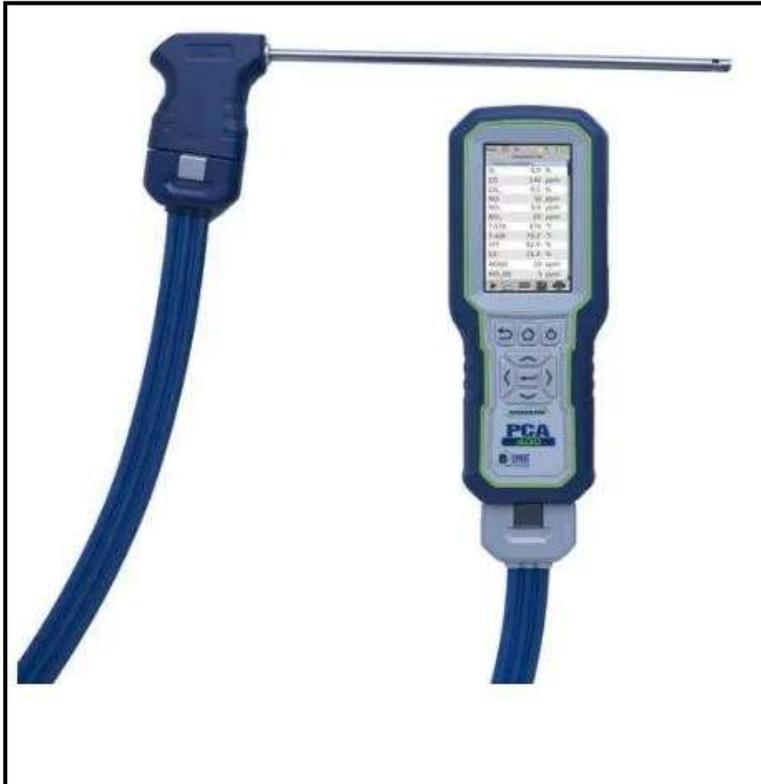
gas natural, de dióxido de nitrógeno, de monóxido de nitrógeno.

El nivel de oxígeno en los gases de escape está en el rango 0.7% a 2.5 %. Cabe resaltar que el nivel de óxidos de nitrógeno debe estar debajo del límite de máximo permisible 1400 mg/m³ según decreto supremo N° 001-2020-MINAM (Ministerio del Ambiente).

En la siguiente Figura 18 se muestra el sensor de nivel de oxígeno.

Figura 18

Analizador de combustión y emisiones.



Nota. <https://www.directindustry.es/prod/bacharach/product-17316-1953040.html>

Especificaciones técnicas del sensor de oxígeno:

- Rango de medición en volumen de oxígeno en los gases de escape de 0 % a 29 %.
- Intervalo de medición de hidruro de cobalto compensado: 0 a 10,000 ppm.
- Valor de medida de monóxido de carbono (alto rango): 0 a 40,000 ppm.
- Rango de medición de óxido nítrico: 0 a 3,000 ppm.
- Rango de medición dióxido de nitrógeno: 0 a 500 ppm.
- Rango de medición dióxido de azufre: 0 a 5,000 ppm.

El sensor de flujo de aire presenta como entrada en aire primario y es el aire que se encuentra presente naturalmente dentro del horno rotatorio. El aire secundario, viene desde el sistema enfriador de clínker, la cual realiza la medición con el caudalímetro térmico másico. En la siguiente Figura 19 se muestra el caudalímetro másico térmica marca ABB modelo FMT400-VTS.

Figura 19

Caudalímetro térmico másico.



Nota. <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=10/146.22ES&LanguageCode=es&DocumentPartId=&Action=Launch>

Especificaciones técnicas de sensor de flujo de aire:

- Rango de medida de caudal :0 a 120 Nm³/h
- Temperatura de funcionamiento: -25 a 300 °C.
- Presión de servicio: 4 x 10⁶ Pa (40 bar [580 psi]).
- Señal de salida analógica 4 a 20 mA.
- Tensión de alimentación: 24 V DC ± 25 %; 24 V AC ± 25 %.
- Frecuencia: 48 a 62 Hz.
- Consumo de potencia: < 15 watts.
- Consumo de corriente:< 600 mA.
- Modo de protección IP 65 / NEMA 4X.

En los medios de transmisión guiados utilizados son cable de par trenzado y cable fibra óptica.

El cable UTP es un medio de cuatro pares de hilos que se utiliza en diversos tipos de redes. Este tipo de cable a pesar de ser el más utilizado, cuenta sólo con el efecto de cancelación que producen los pares trenzados de hilos para limitar la degradación de la señal.

La fibra óptica multimodo es útil para aplicaciones de corto y mediano alcance o cuando se requiere de mediana y gran capacidad de transmisión, las relaciones entre núcleo y revestimiento son 50/125 μm y 62.5/125 μm .

En este trabajo de tesis se utilizó la fibra óptica multimodo código 016TEY-13138A2G ya que es idóneo para aplicaciones en sistemas de comunicaciones de distancias medias y va ser utilizado para unir los diferentes tableros de clientes a través de la topología anillo. En la siguiente Figura 20 el Cable Corning 16 hilos de fibra óptica, interiores/exteriores, armado metálico, unitubo, holgada U-DQ(ZN)(SR)H 16F (1X16) OM2CC CT 5.0.

Figura 20

Cable de fibra óptica multimodo.



Nota. <https://www.datasheets360.com/pdf/-7073336507608138665>.

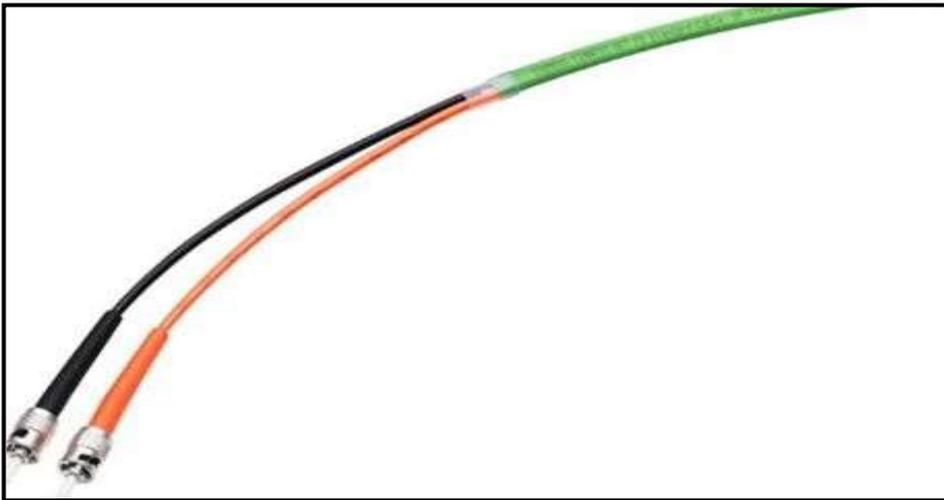
También se utilizó cable fibra óptica Simatic NET FO standard de 50/125 μm con conectores 2x2 ST/BFOC y tiene código 6XV1873-3AN30. La distancia que alcanza es

de 30 metros. Tiene como objetivo conectar los switches de los tableros de periferia descentralizada que se abrevia (TDP) con los patch panel para transmitir las señales ópticas hacia los controladores maestro PLC.

En la siguiente Figura 21 se muestra el patch core de material fibra óptica.

Figura 21

Patch core fibra óptica Simatic NET FO standard de 50/125 um.

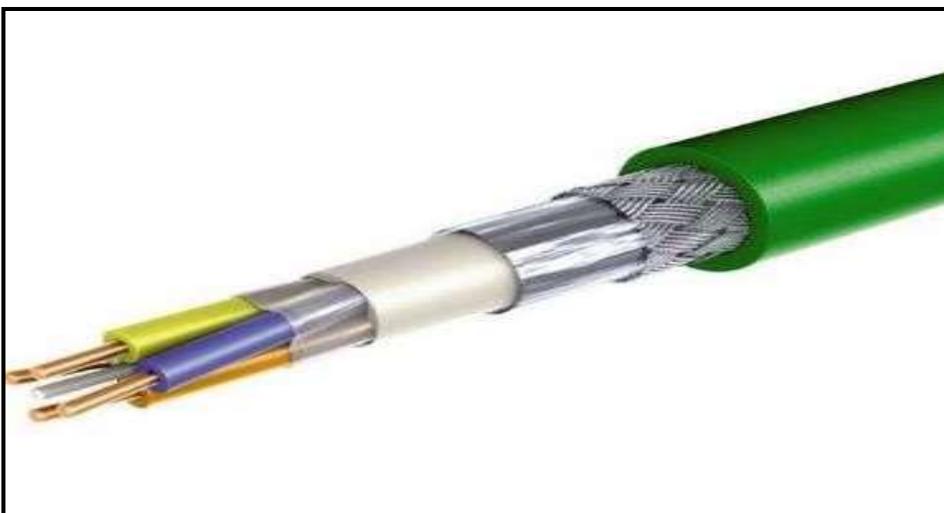


Nota. <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/uk/Catalog/Product/6XV1873-3AN30>.

Se incluyó la utilización de cable industrial ethernet que se abrevia (IE) de conexión rápida y par trenzado flexible, GP 2 x 2 (PROFINET Type B), shielded Cat 5, y tiene código 6XV1870-2B. La distancia que alcanza es de 20 metros. En la siguiente Figura 22 se muestra el cable IE flexible (PROFINET Type B).

Figura 22

Cable IE FC TP flexible, GP 2 x 2 (PROFINET Type B).



Nota. <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/Catalog/Product/6XV18702B>).

Controlador lógico programable S7- 400. Este equipo autómatas programable de gama media y alta que tiene como característica principal controlar las señales provenientes de los distintos sensores y actuadores en el sistema de comunicaciones del horno rotatorio. Es idóneo y seleccionado para este proyecto de tesis. Además, dispone la integración de los siguientes módulos:

- Fuente de alimentación para la conexión Simatic S7-400 con una red de 120/230 voltios o 24 voltaje de corriente continua.
- Módulo central para las unidades de procesamiento central para el tratamiento de las señales de entrada tanto analógicas como digitales y para la comunicación de señales de salidas para la activación de actuadores.
- Módulos de señales para entradas/salidas tanto analógicas como digitales.
- Módulos de comunicaciones (CP 443) para la integración a bus de red Profinet.
- Módulo de función (FM) y está integrado exclusivamente para ejecutar tareas muy exigentes. Por ello se debe considerar en casos tales como posicionamiento rápido en lazos de control abierto o cerrado.
- Tiene una gran adaptación a entornos mineros, industriales, cementeras, etc.
- Gracias a su alta compatibilidad y soporta temperaturas hasta 60 °C.
- 5 interfaces: 2x PN, 1x DP, 2 para sincronizar módulos.

En la siguiente Figura 23 se muestra el controlador lógico programable S7-400 módulo central CPU 410-5H.

Figura 23

PLC S7 -400, CPU 410-5H.



Nota. <https://support.industry.siemens.com/cs/attachments/10947671/PI-A5E32282.pdf>

Se incluyó el switch industrial, el cual es un dispositivo que está orientado a la conexión y de forma dinámica, conmuta entre sus diferentes puertos para crear conexiones. Además, presenta las siguientes especificaciones técnicas del transceptor para las comunicaciones ópticas:

- Para la conexión óptica, se realiza mediante el sistema de conexión straight tip/bayonet fiber optic connector abreviado ST/BFOC.
- Procedimiento de transmisión 100 Base-FX según IEEE 802.3
- Velocidad de transmisión 100 Mbits/s (Fast Ethernet).
- Fuente de luz LED/Class1-LASER "Eye safe"
- Longitud de onda 1300 nm.
- Longitudes de cable (máxima.): Con diámetro de núcleo de fibra de 50 μm 3km y con diámetro de núcleo de fibra de 62.5 μm 3km.
- Salida de transmisor (óptica): Mínima (Con 50 μm : -23 dBm y con 62,5 μm : -19 dBm) y Máxima: -14 dBm.
- Entrada de receptor: Sensibilidad mínima -32 dBm, potencia máxima de entrada -3 dBm.

En la siguiente Figura 24 se muestra el switch industrial de la marca siemens scalance modelo xc206-2 con código 6GK5 206-2BB00-2AC2.

Figura 24

Switch industrial scalance XC-206.



Nota. <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/es/Catalog/Product/6GK52062BB00-2AC2>.

Para administrar y organizar todas las señales de datos de los controladores maestro se empleó un switch gestionable Industrial Ethernet que presenta un número mayor de puertos tanto para conectores registrados que abreviado es (RJ) 45 como conectores punta cuadrado (SC), conector pequeño (LC), punta recta (ST/BFOC).

En la siguiente Figura 25 se muestra switch de la marca siemens modelo XR324-4M EEC.

Figura 25

Switch scalance XR324-4M EEC



Nota. [https://support.industry.siemens.com/cs/products/6gk5324-4gg00-2jr2/scalance-xr324-4m-eec-\(2jr2\)?pid=477165&mlfb=6GK5324-4GG00-2JR2&mf=ps&lc=en-AR](https://support.industry.siemens.com/cs/products/6gk5324-4gg00-2jr2/scalance-xr324-4m-eec-(2jr2)?pid=477165&mlfb=6GK5324-4GG00-2JR2&mf=ps&lc=en-AR).

Especificaciones técnicas del switch scalance XR324-4M EEC:

- Fuente de alimentación: 2x 24 VDC.
- Corriente consumo: 1.6 amperios.
- 16 puertos para conexiones eléctricas RJ45 para 10/100/1000 Mbit /s.
- Conexión para la consola del operador :1
- Conexión para señalar el contacto :1
- Conexión para el módulo de medios 4
- Conexión para consola de operador RJ11.
- Configuración y diagnóstico Profinet IO.
- Puertos especiales para VLAN.
- Temperatura de operación: -40 a 70 °C.

Se adicionó el servidor Simatic IPC847D marca Siemens con código 6ES7660-6HW71-3FD6, el cual es un servidor rackeable de 19" con alto rendimiento que contiene un sistema matriz redundante de discos independientes que se abrevia (RAID), el hardware está basado en una tarjeta adaptadora RAID de hardware de interconexión de componentes periféricos que se abrevia (PCI) y con interfaz de discos duros de almacenamiento adjunto al servidor que se abrevia (SAS). Cabe resaltar que en la red de gestión permitió integrar la red de campo y gestionar todas las señales provenientes de los diferentes módulos de entradas/salidas desde las estaciones de Ingeniería.

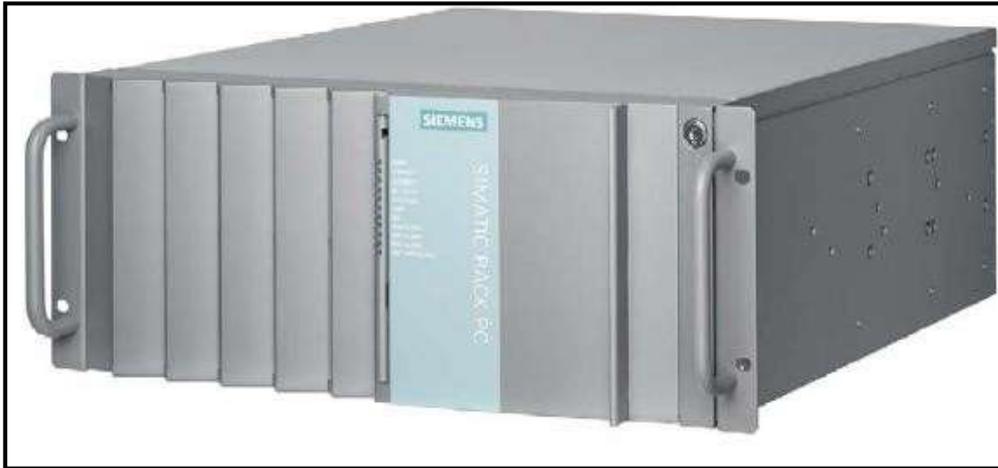
Características más resaltantes:

- PROFIBUS/MPI: 12 Mbits/s, aislado, compatible con procesador de comunicaciones que abreviado (CP) 5622, opcional.
- PROFINET: 10/100 Megabits/seg (CP 1616 on board), tres RJ45; opcional.
- Ethernet 2 × 10/100/1000 Mbits/s (dos RJ45).
- Soporta Wake on LAN, Remote Boot y teaming.
- USB 2 × frontales, 4 posteriores; 1 interno; (high current)
- Puerto serie de comunicaciones 1 que se abrevia (COM1), también puerto serie o paralelo de comunicaciones que se abrevia (COM2) ; opcional.
- Puerto paralelo para impresión que se abrevia (LPT), opcional.
- Monitor:1 interfaz digital visual que se abrevia (DVI-I), para interfaz visual entrega una señal solo digital que se abrevia (DVI-D) o matriz de arreglo de videos que abreviado es (VGA) mediante adaptador, 2 puertos display tipo T, 2 puertos display tipo DVI-D/VGA con tarjeta gráfica dual head (opcional).
- Paralelo LPT, opcional
- Teclado PS/2
- Ratón PS/2
- Audio Micrófono, line out / auriculares.
- Fuente de alimentación 100-240 V AC, largo alcance; con puenteo en caso de caídas de tensión breves: máx. 20 ms a 0,85 de tensión nominal

En la siguiente Figura 26 se muestra el servidor SIMATIC IPC847D marca Siemens.

Figura 26

Servidor Simatic IPC847D.



Nota. [https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/Catalog/Product/?mfb=6A142...-](https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/Catalog/Product/?mfb=6A142...).

El extensor de computadora de marca G&D dvi visión cat mc2 aru2 cpu modelo A1110169 consiste de un módulo (transmisor) y un módulo de usuario (receptor) y le permite operar una computadora en una consola local o remota, es necesario indicar que utiliza cable UTP o cable de fibra óptica para transmitir señales hasta 10.000 m. Los dispositivos usan video dvi y están disponibles como variantes que muestran 1, 2 o 4 canales de video. En la Figura 27 se muestra el dispositivo dvi visión cat mc2aru2 cpu.

Figura 27

Dvi-vision-cat-mc2-aru2-cpu.



Nota. https://www.gdsys.de/fileadmin/download/Kataloge/EN/GD_DVI-Vision-CAT-Fiber_1.10_en_web.pdf

Especificaciones técnicas de dvi visión cat mc2 aru2 cpu:

- Teclado / Ratón (USB y PS/2)
- Interfaz visual digital de enlace único con un ancho de banda de entre 25 y 165 MP/s.
- Hasta 1920 x 1200 a 60 Hertz.
- Audio analógico, bidireccional y estéreo.
- Compatible con protocolo RS232.
- Opcional: puerto USB 2.0 (hasta 16 Mbit /s) o USB 2.0 puerto (hasta 480 Mbit/s)

La pantalla interfaz hombre-máquina marca Siemens modelo KTP 900 con código 6AV2123-2JB03- 0AX0 es un dispositivo digital que permite visualizar en tiempo real y de manera gráfica la operación del proceso del horno rotativo y que además permite supervisar de manera remota las señales de los sensores y actuadores. En la siguiente Figura 28 se muestra la pantalla HMI.

Figura 28

Pantalla HMI KTP 900



Nota. <https://support.industry.siemens.com/cs/pd/136172?pdtd=td&dl=en&lc=en- WW>

Especificaciones técnicas de la Pantalla HMI KTP 900:

- Tipo de tensión de la alimentación: 24 voltios y corriente directa.
- Corriente de consumo (valor nominal): 230 mA.
- Potencia eléctrica de consumo: 5,5 W.
- Interfaz PROFINET.
- Configurable desde wincc basic v13/ step7 basic v13.

CAPÍTULO IV: ASPECTOS ADMINISTRATIVOS

4.1 Análisis de costos generales

En la Tabla 13, se detalla el costo de los materiales y equipos para el diseño del sistema de comunicaciones.

Tabla 13

Costo de equipos

N°	Descripción	Código/Modelo	Cantidad	Precio Total
1	PLC simatic PCS7, S7-400, módulo 5H-410	6GK5324-4GG00-2JR2	1	S/.35,025.00
2	Módulo procesador comunicaciones Profinet Simatic S7-400, CP 443-1. 2x 10/100 Mbits/s (IE Switch); puertos RJ45; ISO; TCP; UDP; PROFINET IO Controller comunicación S7	6GK7443-1EX30-0XE0	1	S/.8,283.00
3	Módulo simatic PCS 7, PS 407 10A R XTR S7-400 power supply Wide range, 120/230V UC, 5 V DC/10 A	6ES7407-0KR02-0AA1	1	S/.4,534.00
4	Switch modelo XR324-4M EEC	6GK5324-4GG00-2JR2	1	S/.104,955.00
5	Switch industrial scalance XC-206	6GK5 206-2BB00-2AC2	5	S/.8,750.00
6	SIMATIC IPC847D (Rack PC, 19", 4 módulos de altura)	6ES7660-6GW71-3BD6	2	S/.76,207.80
7	Módulo extensor KVM DVI-VISION-CAT-MC2-ARU2-CPUde la marca G& D	A1210175/ A1220205	6	S/.5,604.20
8	Pantalla HMI marca Siemens modelo KTP900	6AV2123-2JB03-0AX0	3	S/.14,778.00

9	Sensor RTD Tipo S marca Endress +Hausser	TAF1 6- 31Q6D03 PRD	12	S/.9,168.00
8	Caudalímetro másico marca MaxxFlow	HTC	4	S/12,041.60
9	Actuador electroneu mático marca KINETROL	204-100	3	S/12,033.00
10	Analizador portátil de combustiones yemisiones de la marca Bacharach	PCA400	3	S/20,654.80
11	Caudalímetro másico térmico marca ABB	FMT400-VTS	2	S/.6,174.72
12	Cable IE FC TP Flexible cable GP 4x2, par trenzado Cat6A	6XV1870-2E	10	S/3,219.00
13	Industrial Ethernet FC TP, cable 2x2(PROFINET Type B), order 20 m	6XV1870-2B	12	S/.3,066.00
14	FO Standard cable 50/125 um, conectorizado con 2x2 conectores ST/BFOC, 30 m de largo	6XV1873- 3AN30	9	S/.6,866.00
15	FO Standard cable 50/125 um, conectorizado con 2x2 conectores ST/BFOC, 20 m de largo	6XV1873- 3AN20	18	S/.10,954.44
16	FO Standard cable 50/125 um, conectorizado con 2x2 conectores ST/BFOC, 5 m de largo	6XV1873- 3AH50	12	S/. 4,786.56
17	FO Standard cable 50/125 um, conectorizado con 2x2 conectores ST/BFOC, 3 m de largo	6XV1873- 3AH30	17	S/. 4,157.00
18	Industrial Ethernet TP Cord RJ45/RJ45, TP cord Pre-assembled with 2 RJ45 connector, length 0,5 m	6XV1850- 2GE50	15	S/. 727.65
19	Industrial Ethernet TP Cord RJ45/RJ45, TP cord Pre-assembled with 2 RJ45 connector, length 2 m	6XV1850- 2GH20	20	S/. 1,547.94

20	Industrial Ethernet TP Cord RJ45/RJ45, TP cord Pre-assembled with 2 RJ45 connector, length 6 m	6XV1850-2GH60	9	S/. 693.00
21	SITOP PSE200U 10 A selectivity module 4-channel input:24 V DC/40 A output:24 V DC/4 x 10 A. Level Adjustable 3-10 A	6EP1961-2BA21	10	S/. 2,299.00
22	Cable Corning 16FO, MPC, Int. /Ext., armado metálico, unitubo, holgada UDQ(ZN)(SR)H 16F (1X16) OM2CC CT 5.0. Cada carrete de bobina contiene 1000 mts.	016TEY-13138A2G	2	S/.679,140.00
			Total	S/.972,692.10

Nota. Elaboración propia.

En la siguiente Tabla 14 se muestra la inversión de capital (CAPEX) la cual consta de la Inversión en equipos, materiales, el montaje de tuberías, el tendido de la fibra óptica, la instalación y configuración de equipos controladores lógicos programables, servidores, switches, etc.

Tabla 14*Cuadro CAPEX*

Descripción	Cantidad	Precio	Precio Total
Diseño del sistema de comunicaciones de fibra óptica.	1	S/.35,000.00	S/.35,000.00
Instalación y configuración de Instrumentos (sensores TAF16 y actuadores KINETROL).	1	S/.20,000.00	S/.20,000.00
Canalizado x metro cuadrado.	500	S/40.00	S/.20,000.00
Tendido de fibra óptica Corning (x metro)	1150	S/.50.00	S/.57,500.00
Montaje de patchs panel en cada Sala	4	S/.200.00	S/.800.00
Empalme de la fibra óptica Corning en los patchs panel	5	S/.500.00	S/.2,500.00
Instalación y configuración de equipos (switches scalance XC-206, PLC's S7-400 y servidores IPC847D)	1	S/.55,000.00	S/.55,000.00
Costos de equipamiento (detalle en la Tabla N° 13)	1	S/.972,692.10	S/.972,692.10
Total			S/.1'163,492.10

Nota. Elaboración propia.

Glosa: Por ser un caso de estudio de investigación se considera el costo por servicio de Instalación de manera representativa. También no se considera el costo por servicio de instalación de licenciamiento en las estaciones de trabajo y estación Ingeniería.

A continuación, se muestra la Tabla 15 y detalla los costos de operación y costos de mantenimiento conocido como OPEX, los cuales son los costos relacionados con el monitoreo, operación y gestión del sistema de comunicaciones de fibra óptica. Para determinar este valor generalmente se establece un porcentaje entre el 5 al 9 % del costo total por equipos.

Tabla 15

Cuadro OPEX.

Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Pago de personal para el Mantenimiento (cada 12 meses)	4	S/.3,000.00	S/.12,000.00
Costos de Mantenimiento Preventivo (cada 12 meses)	1	S/.5,000.00	S/.5,000.00
Costos por consumo de energía (cada 12 meses)	1	S/.4,000.00	S/.4,000.00
Repuestos requeridos para el sistema de comunicaciones (estimación cada 12 meses)	1	S/.10,000.00	S/.10,000.00
Costos Administrativos y Logística (cada 12 meses)	3	S/.3,000.000	S /.9,000.00
Total			S/.45,000.00

Nota. Elaboración propia.

Glosa: No se considera el costo por servicio de renovación de licenciamiento en las estaciones de trabajo y estación Ingeniería.

CONCLUSIONES

1. Como parte del desarrollo del proyecto de tesis, en el capítulo III, se logró diseñar el sistema de comunicaciones de fibra óptica, el cual permitió desarrollar un esquema de red y describir una topología para el control de un horno rotativo de una planta cementera.
2. Se logró realizar el detalle en el diseño de un sistema de comunicaciones de fibra óptica incluyendo un enlace óptico. Resaltar que en su enlace óptico el principal componente es la fibra óptica y que la transmisión de las señales desde los módulos E/S hasta las estaciones de Ingeniería queda indicado en la sección 3.3.
3. El análisis de costo beneficio nos muestra que es un proyecto rentable que se emplea una tecnología de vanguardia en torno a redes industriales que se aplica para tener mayor rendimiento, control y eficiencia en subprocesos de hornos rotativos dentro de industria cementera.

RECOMENDACIONES

- Se sugiere que, si se desea implementar y ejecutar el diseño sistema de comunicaciones de fibra óptica para entornos industriales y mineros se debe considerar el estándar de protocolo de comunicación Profinet para la implementación y puesta en funcionamiento del sistema de comunicaciones de fibra óptica ya que presenta muchas ventajas y aceptaciones por Organizaciones internacionales de la Industria.
- Se recomienda establecer de manera adecuada los parámetros de medición para un óptimo control de un proceso de un horno rotativo y así permita seleccionar todos los equipos y dispositivos involucrados en el diseño del sistema de comunicaciones de fibra óptica.
- Se recomienda verificar las especificaciones técnicas de los equipos y medios de transmisión que cumplan de forma rigurosa los requerimientos para lograr un buen diseño de un sistema de comunicaciones de fibra óptica.

REFERENCIAS

- Andrea, E. (2014). *Tecnología metalúrgica*. Cantabria, Universidad de Cantabria
<https://ocw.unican.es/course/view.php?id=261>
- Ávila, O. (2021). *Desarrollo e implementación de redes industriales utilizando el protocolo Modbus para la transferencia de datos de control de un VFD entre dos PLCs* [Tesis de pregrado, Universidad Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México].
<https://repositorioinstitucional.buap.mx/handle/20.500.12371/14962>.
- Beltrán, E. (2018). *Diseño del sistema de comunicaciones que incluye el estándar IEEE C37.94 entre las subestaciones eléctricas San Gabán y Azángaro* [Tesis de pregrado, Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú].
<https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/2715>
- Bryan, L. y Bryan E. (1998). *Programmable Controllers, Theory and Implementation*. (2da ed.). Georgia, USA: Industrial Text Publication.
- Centro de formación técnica para la industria (2020). ¿Qué son las redes de comunicación industriales? España: Curso Aula 21.
<https://www.cursosaula21.com/wp-content/uploads/2020/02/curso-de-redes-de-comunicaci%C3%B3n-industrial.pdf>
- La Web del programador. (19 de julio del 2018). *Capítulo I. El modelo CIM y jerarquía de Redes de Comunicación en la Industria*.
<https://www.lawebdelprogramador.com/pdf/12605-Capitulo-I-El-modelo-CIM-y-jerarquia-de-redes-de-comunicacion-en-la-industria.html>
- Codelco Educa. (2018). *Conoce y aprende del proceso productivo del cobre*. Chile: CODELCO Educa.
https://www.codelcoeduca.cl/codelcoeduca/site/edic/base/port/proceso_productivo.html.
- Hughes, T. (2007). *Measurement and Control Basic*. (4ta ed.). USA: ISA – The Instrumentation Systems, and Automation Society.
- International Society of Automation. (2022). *Instrumentation Symbols and Identification*. The Instrument Society of America. USA.
<https://www.isa.org/products/ansi-isa-5-1-2022instrumentation-symbols-and-iden>
- de producción Roll Former 4*. Arequipa, Perú.

- Gálvez, P. (2011). *PLC modular. Blog Automatismo* [Blog]. Chile.
<https://www.profesorpaul.blogspot.com/2011/08/plc-modular.html>
- MOLYCOP (2018). *La Joya Completion. Descripción de la planta*. Arequipa, Perú.
<https://molycop.com/why-we-do-it/la-joyaconstruction/>
- MOLYCOP. (2015). *Filosofía de control. Proyecto nuevo línea de producción Roll Former 4*. Arequipa, Perú.
- MOLYCOP (2015). *Criterios de diseño de sistema de supervisión. Proyecto nuevo línea producción Roll Former 4*. Arequipa, Perú.
- Ogata, K. (2010). *Ingeniería de control moderna*. (5ta ed.). Madrid, España: Pearson Education, S.A.,
- Pincay, D. (2021). *Estudio de factibilidad de una red de fibra óptica para el mejoramiento de comunicación el mejoramiento de comunicación de la Unidad Educativa Alejo Lascano*. [Tesis de pregrado, Universidad Estatal del Sur de Manabí, Ecuador].
<http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/3042>
- Tito, E. (2019). *Diseño de una red de fibra óptica para mejorar la comunicación de datos en las Instituciones públicas y población del distrito de Quichuas, Tayacaja, Huancavelica-2018*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Huancavelica, Perú].
<https://repositorio.unh.edu.pe/bitstreams/daaf5b76-df34-4f07-93ef-c59a609525bf/download>
- Tomasi, W. (2003). *Sistemas de comunicaciones electrónicas*. (4ta ed.). Naucalpan de Juárez, México: Pearson Educación.
<http://fernandoarciniaga.com/books/sistemas-de-comunicaciones-electronicas-tomasi-4ta-edicion.pdf>
- Powell, J. y Vandelinde, H. (2009). *Un recorrido por PROFIBUS*. Argentina: Siemens Miltronics Process Instruments inc.
- Ramírez, G. (2020). *Aplicaciones de fibra óptica en la industria Minero-Energética*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia].
<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/79406/1035415578.2021.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- SIEMENS. (2022). *Sistema de cableado*.
<https://mall.industry.siemens.com/mall/es/es/Catalog/Products/9309999?tree=CatalogTree>.
- SIEMENS. (2023). *Industrial Ethernet*.

<https://new.siemens.com/global/en/products/automation/industrial-communication/industrial-ethernet.html>

Schiffer, V. (2016). *Common industrial protocol (CIP) and the family of cip networks*.

USA: Odva Inc.

https://www.odva.org/wp-content/uploads/2020/06/PUB00123R1_Common-Industrial_Protocol_and_Family_of_CIP_Networks.pdf

Vester Industrial Training Center. (2023). *Puntos clave en las redes industriales Modbus*.

<https://vestertraining.com/blog/redes-industriales-modbus/>

ANEXOS

Anexo A: Matriz de Consistencia

En la Tabla 16 se muestra la matriz de consistencia de la presente tesis titulada: Diseño de un sistema de comunicaciones de fibra óptica para el control de un horno en una planta cementera.

Tabla 16

Matriz de Consistencia.

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	VARIABLES
¿Cómo realizar el control de un horno en una planta cementera empleando la tecnología de la fibra óptica?	Diseñar un sistema de comunicaciones de fibra óptica para el control de un horno de una planta cementera	Sistema de comunicaciones con fibra óptica en un horno de planta cementera
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	
¿Cómo se va elaborar el diseño de un sistema de comunicaciones de fibra óptica para el control de un horno de una planta cementera?	Desarrollar un esquema de red y describir la topología del sistema de comunicaciones de fibra óptica que permita el control de un horno rotativo de una planta cementera.	Desarrollo de un esquema de red y descripción de la topología en las comunicaciones de fibra óptica para el control de un horno en una planta cementera.
¿Cómo el diseño de un sistema de comunicaciones de fibra óptica podrá brindar confiabilidad en el control de un horno de una planta cementera?	Desarrollar un enlace óptico en el detalle del diseño de un sistema de comunicaciones de fibra óptica y también describir el cálculo del enlace óptico que permita brindar confiabilidad en el control de un horno de una planta cementera.	Desarrollo de un enlace óptico en el detalle en las comunicaciones de fibra óptica para el control de un horno en una planta cementera.

Nota. Elaboración propia.

Anexo B: Cable de fibra multimodo Cable Corning 016TEY-13138A2G

Central Tube Steel Armor Indoor/Outdoor Cable

16F G50 MMF ClearCurve® OM2 CT 5.0

CORNING

Corning MPC (multipurpose cable) central tube cables with corrugated steel armoring are flame-retardant, indoor/outdoor cables designed for interbuilding and intrabuilding backbones in duct, direct burial and riser applications.

The central tube cable construction, by isolating the fibers from installations and environmental rigors, provides stable and highly reliable transmission parameters. The fibers are color coded for quick, easy identification.

The cable construction, based on a central buffer tube, is compact, light, flexible and ideal for connections requiring a moderate fiber count.

These cables are designed for installation in conduits, ducts, direct burial and in-house.

Features and Benefits

Waterblocking technology

OSP (outdoor) applications

UV- and microbe-resistant

Can be installed in ducts or conduits

Corrugated steel armoring

Rodent, mechanical protection and direct buried applications

Small diameter and bend radius

Easy installation in space-constrained areas

Fibers color coding to Telcordia-Bellcore

Easy identification of the individual fibers

Flame retardant

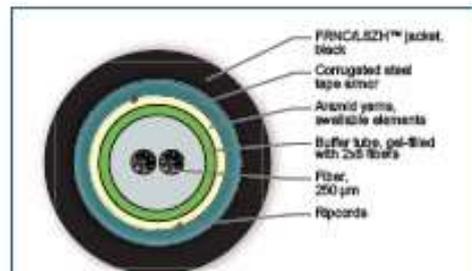
LSZH™/FRNC

Silicon-free outer jacket

The cable jacket is free of harmful to paint structures



Part Number: 016TEY-13138A2G



Cross Section of Part Number: 016TEY-13138A2G

Central Tube Steel Armor Indoor/Outdoor Cable

16F G50 MMF ClearCurve® OM2 CT 5.0



Cable Design	
Number of Fiber Bundles	2
Fiber Bundle Coloring	Blue, Orange
Buffer Tube Color	Green
Buffer Tube Diameter	5 mm
Number of Ripcords	2
Tensile Strength Elements and/or Armoring - Layer 1	Corrugated steel tape armor with dielectric strength elements (aramid yarns) and swellable elements
Outer Jacket Material	Flame-retardant, non-corrosive/low-smoke, zero-halogen (FRNC/LSZH) material
Outer Jacket Color	Black
Outer Jacket Nominal Thickness	1.5 mm
Cable Marking	Meter - Handset - CE 17 EN 50575 Eca - Sine - CORNING - Fibre Optic Cable - Year - U-DQ(ZN)(SR)H 16 OM2CC CT 5.0 LSZH(TM)/FRNC

Mechanical Characteristics Cable	
Nominal Outer Diameter	9.7 mm
Weight	114 kg/km
Min. Bend Radius Installation	195 mm
Min. Bend Radius Operation	145 mm
Max. Tensile Strength for Installation	1500 N
Crush Resistance	3000 N/10 cm
Fire Load	1.91 MJ/m

Chemical Characteristics	
RoHS	Free of hazardous substances according to RoHS 2011/65/EU

Ordering Information

Part Number	016TEY-13138A2G
Product Description	Central Tube Steel Armor Indoor/Outdoor Cable 16F G50 MMF ClearCurve® OM2 CT 5.0, Eca
EAN Code	4056418782409

Anexo C: Caudalímetro másico térmico marca ABB modelo FMT400-VTS.

Tipo	FMT400-VTS	FMT400-VTCS Versión higiénica
Condiciones de aplicación		
Tramos de amortiguación recomendados	Según DIN EN ISO 5167-1 Tramo de entrada min: 15 x D, tramo de salida: 5 x D	
Condiciones ambientales		
Temperatura ambiente – transmisor	-25 ... 70 °C (-13 ... 158 °F) Versión para la zona 2/22: -20 ... 50 °C (-4 ... 122 °F)	
Limpieza CIP/SIP	-	Con aparato desconectado
Temperatura de almacenamiento	-25 ... 85 °C (-13 ... 185 °F)	
Condiciones de proceso		
Temperatura de funcionamiento – fluido (sensor de caudal)	Rango estándar: -25 ... 150 °C (-13 ... 302 °F) Rango ampliado: -25 ... 300 °C (-13 ... 572 °F) Versión para la zona 2/22: -20 ... 130 °C (-4 ... 266 °F)	-25 ... 150 °C (-13 ... 302 °F)
Presión de servicio	4 x 10 ⁶ Pa (40 bar [580 psi])	1,6 x 10 ⁵ Pa (16 bar [232 psi]) racor roscado S (para DN 80: 10 x 10 ⁵ Pa (10 bar [145 psi])) 10 x 10 ⁵ Pa (10 bar [145 psi]) brida FG
Pérdida de presión (representación logarítmica)	<p>< 1,0 kPa (10 mbar), valor típico 0,1 kPa (1 mbar)</p> <p style="text-align: right;">G00716</p>	
Alimentación de corriente		
Tensión	24 V DC ± 25 %; 24 V AC ± 25 %, 48 ... 62 Hz	
Consumo de potencia	< 15 W, consumo de corriente < 600 mA, protección por fusible min: 2 A, de acción lenta	
Entrada de cables	M20 x 1,5	
Salida		
Salida analógica	0/4 ... 20 mA, carga < 750 Ω, aislada galvánicamente, mensaje de error < 3,5 o > 22 mA	
Modo de protección	IP 65 / NEMA 4X	

Anexo D: Dvi vision cat mc2 aru2 cpu

The **DVI-Vision** KVM Extender System extends the following signals

- Keyboard/Mouse (USB and PS/2)
- Single-Link DVI using a bandwidth between 25 and 165MP/s (eg. up to 1920 x 1200 @ 60 Hz)
- Audio, analog, bidirectional, stereo
- RS232 transparent
- Optional: transparent USB 2.0 (up to 16 Mbit/s) or transparent USB 2.0 (up to 480 Mbit/s)
- Generic USB HID

The system consists of a computer module (transmitter) and a user module (receiver) and enables you to operate a computer on a local or remote console.

DVI-Vision uses CAT-x cables or fibre optics to transmit signals up to 10,000 m. The devices use DVI video and are available as variants displaying 1, 2 or 4 video channels. It is also possible to transmit transparent USB 2.0, RS232 and audio signals.



above: DVI-Vision-CAT-MC4-ARU-CON user module
below: DVI-Vision-CAT-MC4-ARU2-CPU computer module

GENERAL FEATURES

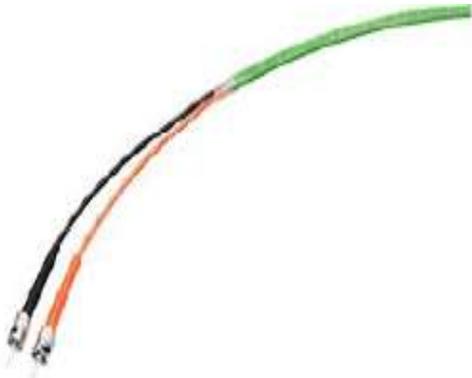
DVI-Vision-CAT

DVI-Vision-CAT series	
Interfaces for computers	
Video	see specific features
PS/2 keyboard/mouse	2 × PS/2 socket
USB keyboard/mouse	1 × USB-B socket
Audio	3.5-mm jack plug (Line In), 3.5-mm jack plug (Line Out)
USB 2.0	Variant -ARU: Shared transmission of signals of USB devices as well as keyboard and mouse via USB-B socket. Variant -ARU2: 1 × USB-B socket
RS232	1 × RS232 socket
Interfaces for remote console	
Monitor	see specific features
PS/2 keyboard/mouse	2 × PS/2 socket
USB keyboard/mouse	2 × USB-A socket
Generic-HID	1 × USB-A socket
Audio	3.5-mm jack plug (Speaker), 3.5-mm jack plug (Micro In)
USB 2.0	Variant -ARU: 2 × USB-A socket Variant -ARU2: 2 × USB-A socket (front panel), 2 × USB-A socket (back panel)
RS232	1 × RS232 plug
Interfaces for local console	
Monitor	see specific features
PS/2 keyboard	1 × PS/2 socket
USB keyboard/mouse	2 × USB-A socket
Other interfaces	
Connection to network	1 × RJ 45 socket
Service	1 × Mini-USB socket (type B)
Audio	
Transmission type	transparent, bidirectional
Resolution	24 bit digital, Stereo
Sampling rate	96 kHz
Bandwidth	22 kHz

Anexo E: Pantalla HMI KTP 900

General information	
Product type designation	KTP900 Basic color PN
Display	
Design of display	TFT widescreen display, LED backlighting
Screen diagonal	9 in
Display width	198 mm
Display height	111.7 mm
Number of colors	65 536
Resolution (pixels)	
• Horizontal image resolution	800 pixel
• Vertical image resolution	480 pixel
Backlighting	
• MTBF backlighting (at 25 °C)	20 000 h
• Backlight dimmable	Yes
Control elements	
Keyboard fonts	
• Function keys	
— Number of function keys	8
— Number of function keys with LEDs	0
• Keys with LED	No
• System keys	No
• Numeric keyboard	Yes; Onscreen keyboard
• alphanumeric keyboard	Yes; Onscreen keyboard
Touch operation	
• Design as touch screen	Yes; Analog-resistive
Installation type/mounting	
Mounting position	vertical
Mounting in portrait format possible	Yes
Mounting in landscape format possible	Yes
maximum permissible angle of inclination without external ventilation	35°
Supply voltage	
Type of supply voltage	DC
Rated value (DC)	24 V
permissible range, lower limit (DC)	19.2 V
permissible range, upper limit (DC)	28.8 V
Input current	
Current consumption (rated value)	230 mA
Starting current inrush I _R	0.2 A ² s
Power	
Active power input, typ.	5.5 W
Processor	
Processor type	ARM
Memory	
Flash	Yes
RAM	Yes
Memory available for user data	10 Mbyte

Anexo F: Cable de fibra óptica Simatic NET FO standard de 50/125 μm



Suitability for use	Cable for installation indoors and outdoors, UL approval
Version of the assembled FO cable	Assembled with four BFOC connectors
Cable designation	AT-W(ZN)YY 2x1 G 50/125
Wire length	30 m

Optical data

Damping ratio per length	
• at 850 nm / maximum	2.7 dB/km
• at 1300 nm / maximum	0.7 dB/km
Bandwidth length product	
• at 850 nm	600 GHz·m
• at 1300 nm	1200 GHz·m

Mechanical data

Number of fibers / per FOC core	1
Number of FO cores / per FOC cable	2
Version of the FO conductor fiber	Multi-mode gradient fiber 50/125 μm , OM 2
Design of the FOC core	Hollow core, filled, diameter 1400 μm
Design of the fiber-optic cable	segmentable

Outer diameter	
<ul style="list-style-type: none"> • of the optical fibers • of the optical fiber sheath • of the FOC core sheath 	50 µm 125 µm 2.9 mm
Symmetrical deviation / of the outer diameter of the FOC core sheath	0.1 mm
Width / of cable sheath	7.4 mm
Thickness / of cable sheath	4.5 mm
Material	
<ul style="list-style-type: none"> • of the fiber-optic cable core • of the optical fiber sheath • of the FOC core sheath • of the fiber-optic cable sheath • of the strain relief 	Quartz glass Quartz glass PVC PVC Aramid fibers
Color	
<ul style="list-style-type: none"> • of the FOC core sheath • of cable sheath 	orange/black green
Bending radius	
<ul style="list-style-type: none"> • with single bend / minimum permissible • with multiple bends / minimum permissible 	45 mm 65 mm
Tensile load	
<ul style="list-style-type: none"> • during installation / short-term • during operation / maximum 	1200 N 500 N
Short-term shear force per length	600 N/cm
Continuous lateral force per length	400 N/cm
Weight per length	40 kg/km
Permitted ambient conditions	
Ambient temperature	
<ul style="list-style-type: none"> • during operation • during storage • during transport • during installation 	-25 ... +80 °C -25 ... +80 °C -25 ... +80 °C -5 ... +50 °C
Burning behavior	flame-resistant acc. to IEC 60332-1-2 and IEC 60332-A)
Chemical resistance	
<ul style="list-style-type: none"> • to mineral oil • to grease 	conditional resistance conditional resistance

Anexo G: Flujómetro másico.

CARACTERÍSTICAS

Tecnología	másico
Fluido	para productos a granel
Montaje	en línea
Aplicaciones	industrial
Otras características	compacto
Presión de proceso	Máx.: -2 mbar (-0,03 psi) Mín.: -8 mbar (-0,12 psi)
Temperatura de proceso	Máx.: 60 °C (140 °F) Mín.: -30 °C (-22 °F)
Flujo volumétrico	Máx.: 1.250 m ³ /h (44.143,3 ft ³ /h) Mín.: 0 m ³ /h (0 ft ³ /h)