**Universidad Nacional Mayor de San Marcos**
**Universidad del Perú. Decana de América**
Facultad de Ciencias Matemáticas
Escuela Profesional de Investigación Operativa

# Diseño eficiente de redes en entornos académicos: reducción de costos y sostenibilidad mediante Árboles de Expansión Mínima

**TESIS**

Para optar el Título Profesional de Licenciada en Investigación Operativa

**AUTOR**

Jenny Lucia AGUIRRE NICHO

**ASESOR**

Mg. Rosario Victoria LOCK DE LA CRUZ

Lima, Perú

2025




Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

**Referencia bibliográfica**

Aguirre, J. (2025). *Diseño eficiente de redes en entornos académicos: reducción de costos y sostenibilidad mediante Árboles de Expansión Mínima*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Matemáticas, Escuela Profesional de Investigación Operativa]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

## Metadatos complementarios

| | |
|---|---|
| **Datos de autor** | |
| Nombres y apellidos | Jenny Lucia Aguirre Nicho |
| Tipo de documento de identidad | DNI |
| Número de documento de identidad | 71244720 |
| URL de ORCID | https://orcid.org/0009-0002-7812-3337 |
| **Datos de asesor** | |
| Nombres y apellidos | Rosario Victoria Lock De La Cruz |
| Tipo de documento de identidad | DNI |
| Número de documento de identidad | 08670498 |
| URL de ORCID | https://orcid.org/0000-0002-0407-0095 |
| **Datos del jurado** | |
| **Presidente del jurado** | |
| Nombres y apellidos | Carmela Catalina Velásquez Pino |
| Tipo de documento | DNI |
| Número de documento de identidad | 09078631 |
| **Miembro del jurado 1** | |
| Nombres y apellidos | Mónica Ivonne Zavala Soto |
| Tipo de documento | DNI |
| Número de documento de identidad | 41607378 |
| **Datos de investigación** | |
| Línea de investigación | A.3.3.1 Optimización Matemática |

| | |
|---|---|
| Grupo de investigación | No aplica. |
| Agencia de financiamiento | Sin financiamiento. |
| Ubicación geográfica de la investigación | Universidad Nacional Mayor de San Marcos<br>País: Perú<br>Departamento: Lima<br>Provincia: Lima<br>Distrito: Lima<br>Coordenadas geográficas<br>Latitud: -12.058333<br>Longitud: -77.083333 |
| Año o rango de años en que se realizó la investigación | Junio 2025 |
| URL de disciplinas OCDE | Matemáticas aplicadas<br>https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.01.02 |

# ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE LICENCIADO(A) EN INVESTIGACIÓN OPERATIVA (PROGRAMA DE TITULACIÓN PROFESIONAL 2025)

En la UNMSM – Ciudad Universitaria – Facultad de Ciencias Matemáticas, siendo las 19:00 horas del miércoles 11 de junio del 2025, se reunieron los docentes designados como Miembros del Jurado Evaluador (PROGRAMA DE TITULACIÓN PROFESIONAL 2025): Mg. Carmela Catalina Velásquez Pino (PRESIDENTA), Mg. Mónica Ivonne Zavala Soto (MIEMBRO) y la Mg. Rosario Victoria Lock De La Cruz (MIEMBRO ASESOR), para la sustentación de la Tesis titulada: "**DISEÑO EFICIENTE DE REDES EN ENTORNOS ACADÉMICOS: REDUCCIÓN DE COSTOS Y SOSTENIBILIDAD MEDIANTE ÁRBOLES DE EXPANSIÓN MÍNIMA**", presentado por la señorita **Bachiller JENNY LUCIA AGUIRRE NICHO**, para optar el Título Profesional de Licenciada en Investigación Operativa.

Luego de la exposición de la Tesis, la Presidenta invitó a la expositora a dar respuesta a las preguntas formuladas.

Realizada la evaluación correspondiente por los Miembros del Jurado Evaluador, la expositora mereció la aprobación ……BUENO……., con un calificativo promedio de …16……..

A continuación, los Miembros del Jurado Evaluador dan manifiesto que la participante **Bachiller JENNY LUCIA AGUIRRE NICHO**, en vista de haber aprobado la sustentación de su Tesis, será propuesta para que se le otorgue el Título Profesional de Licenciada en Investigación Operativa.

Siendo las 19:30 horas se levantó la sesión firmando para constancia la presente Acta.

Mg. Carmela Catalina Velásquez Pino
**PRESIDENTA**

Mg. Mónica Ivonne Zavala Soto
**MIEMBRO**

Mg. Rosario Victoria Lock De La Cruz
**MIEMBRO ASESOR**

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE
SAN MARCOS
Universidad del Perú, Decana de América

## CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, ROSARIO VICTORIA LOCK DE LA CRUZ en mi condición de asesor acreditado con Dictamen N° 000001-2025-EPIO-FCM/UNMSM de la tesis, cuyo título es: **"DISEÑO EFICIENTE DE REDES EN ENTORNOS ACADÉMICOS: REDUCCIÓN DE COSTOS Y SOSTENIBILIDAD MEDIANTE ÁRBOLES DE EXPANSIÓN MÍNIMA"**, presentado por la bachiller **JENNY LUCIA AGUIRRE NICHO** para optar el título de Licenciada en Investigación Operativa, CERTIFICO que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante la plataforma PIDS, el documento evaluado cuenta con el 14% de similitud, nivel PERMITIDO para continuar con los trámites correspondientes y para su publicación en el repositorio institucional.

Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los requisitos para la obtención del título de Licenciada en Investigación Operativa.

Lima, 22 de setiembre de 2025.



Firma del Asesor

Nombres y Apellidos del asesor: ROSARIO VICTORIA LOCK DE LA CRUZ

DNI 08670498

***DEDICATORIA***

A mi tía Beatriz Nicho,
quien ha creído siempre en mí, por ser mi soporte, por el amor incondicional que me ha dado cada día y por ser una verdadera madre para mí. Este logro también es tuyo.

***AGRADECIMIENTOS***

A mi asesora Mg. Rosario Lock De La Cruz, por su apoyo en la realización de la tesis.
A mi tío Victor Nicho, por apoyarme desde la infancia y celebrar conmigo cada logro.
A mi hermana Kelly Aguirre, por ser mi motivación diaria y mi alegría.
A mi amigo Jimmy Poma, quien me apoyó con el levantamiento de información sobre las conexiones y topología de la red.
A Jorge Zegarra, quien me alentó a completar esta etapa académica.

# Contenido

*DEDICATORIA* ..... 1

*AGRADECIMIENTOS* ..... 2

ÍNDICE DE TABLAS ..... 7

ÍNDICE DE FIGURAS ..... 8

RESUMEN ..... 9

ABSTRACT ..... 10

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN ..... 11

1.1. Situación problemática ..... 13

1.1.1. Descripción de la infraestructura de red actual en la Facultad ..... 13

1.1.2. Limitaciones del cableado empírico existente ..... 14

1.1.3. Impacto en actividades académicas y administrativas ..... 14

1.1.4. Desafíos para la expansión futura ..... 15

1.2. Formulación del problema ..... 16

1.2.1. Problema general: ..... 16

1.2.2. Problemas específicos: ..... 17

1.3. Justificación de la investigación ..... 17

1.3.1. Justificación teórica ..... 17

1.3.2. Justificación práctica ..... 20

1.4. Objetivos ..... 22

1.4.1. Objetivo general: 22

1.4.2. Objetivos específicos 23

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO 24

2.1. Antecedentes de investigación 24

2.1.1. Antecedentes nacionales 24

2.1.2. Antecedentes internacionales 25

2.2. Bases teóricas 27

2.2.1. Fundamentos de redes en entornos académicos 27

2.2.2. Teoría de grafos 33

2.2.3. Árboles de Expansión Mínima (MST) 34

2.2.4. Algoritmos para MST 36

2.2.5. Diseño de redes eficientes: costos y sostenibilidad 44

2.3. Marco conceptual o glosario 47

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA 50

3.1. Tipo y diseño de investigación 50

3.1.1. Enfoque cualitativo 50

3.1.2. Investigación aplicada 50

3.1.3. Nivel descriptivo 50

3.2. Unidad de análisis 51

3.3. Población de estudio 51

3.4. Tamaño de muestra ..... 51

3.5. Selección de muestra ..... 51

3.6. Técnicas de recolección de datos ..... 52

3.6.1. Observación estructurada de la infraestructura actual ..... 52

3.6.2. Análisis documental de planos y documentación técnica ..... 54

3.6.3. Levantamiento de información sobre puntos de conexión ..... 55

3.7. Categorías y subcategorías de análisis ..... 56

3.7.1. Eficiencia de la red ..... 57

3.7.2. Puntos críticos de conexión ..... 57

3.7.3. Escalabilidad ..... 58

3.8. Procedimientos de análisis e interpretación de la información ..... 59

3.8.1. Modelado de la red actual como grafo ponderado ..... 59

3.8.2. Determinación de pesos para las aristas (distancias físicas) ..... 60

3.8.3. Formulación matemática del problema de optimización ..... 61

3.8.4. Aplicación del Algoritmo de Prim ..... 63

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN ..... 65

4.1. Análisis y discusión de resultados ..... 65

4.1.1. Diagnóstico de la infraestructura actual ..... 65

4.1.2. Modelado y aplicación del Algoritmo de Prim ..... 66

4.1.3. Diseño optimizado y análisis costo-beneficio ..... 72

4.2. Validación de resultados ..... 72

CONCLUSIONES ..... 73

RECOMENDACIONES ..... 74

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS ..... 75

ANEXOS ..... 77

Anexo 1: Matriz de consistencia ..... 78

Anexo 2: Distribución actualizada de áreas– PISO 1 ..... 80

Anexo 3: Distribución actualizada de áreas – PISO 3 ..... 81

Anexo 4: Distribución actualizada de áreas – PISO 4 ..... 81

Anexo 5: Distribución actual de los puntos de conexión – PISO 1 ..... 83

Anexo 6: Distribución actual de los puntos de conexión – PISO 3 ..... 84

Anexo 7: Distribución actual de los puntos de conexión – PISO 4 ..... 84

Anexo 8: Diseño y distribución actual de los puntos de conexión del edificio ..... 86

Anexo 9: Tabla de relación de nodos según área ..... 87

Anexo 10: Matriz de distancia y adyacencia del cableado actual ..... 89

Anexo 11: Matriz de distancia y adyacencia resultante ..... 93

Anexo 12: Matriz de arcos resultante ..... 98

# ÍNDICE DE TABLAS

**Tabla 1.** Topologías físicas en entornos académicos ..... 28

**Tabla 2.** Comparación de los algoritmos Prim o Kruskal ..... 39

**Tabla 3.** Comparación de los algoritmos Prim o Borůvka ..... 41

**Tabla 4.** Cantidad de nodos por área funcional ..... 56

**Tabla 5.** Cantidad de nodos centrales (switch) según ubicación ..... 58

## ÍNDICE DE FIGURAS

**Figura 1.** Switch Principal: Caos en el punto de Partida para la Optimización de la Red… ..... 53

**Figura 2**. Área Académica: Desorden de cables, impacto en la eficiencia y seguridad….. ..... 53

**Figura 3**. Área Administrativa: Acumulación de cableado obsoleto y en desuso. ..... 54

**Figura 4.** Grafo inicial de la Red: Conexiones del edificio ..... 67

**Figura 5.** Árbol de expansión mínima: aplicando el Algoritmo de Prim en Software Grafos v.1.3.5..... 68

**Figura 6.** Grafo resultante de la Red: Conexiones - Piso 1 ..... 69

**Figura 7.** Grafo resultante de la Red: Conexiones - Piso 3 ..... 69

**Figura 8.** Grafo resultante de la Red: Conexiones - Piso 4 ..... 70

**Figura 9.** Tabla de distancias: Resultados obtenidos de aplicar el Algoritmo de Prim en Software Grafos v.1.3.5 ..... 71

## RESUMEN

Esta investigación aborda el diseño eficiente de la infraestructura de red para la Facultad de Ciencias Contables de la UNMSM, aplicando el concepto de Árboles de Expansión Mínima mediante el algoritmo de Prim.

La problemática radica en el cableado actual, desarrollado empíricamente, generando deficiencias, costos elevados y limitaciones para la expansión. A través de un enfoque cualitativo y una investigación aplicada descriptiva, se diagnosticó la infraestructura, modelando la red como un grafo ponderado. La implementación del algoritmo de Prim demostró una reducción del 18.63% en la cantidad de cable, manteniendo la conectividad y mejorando la eficiencia. Esta optimización implica beneficios económicos y contribuye a la sostenibilidad de la infraestructura tecnológica académica.

El estudio propone una metodología sistemática para el diseño de redes en entornos académicos, evidenciando la efectividad de la teoría de grafos y algoritmos voraces como Prim para optimizar la infraestructura de red en términos de eficiencia, costos y sostenibilidad.



**Palabras clave:** Teoría de grafos, Árbol de expansión mínima, Algoritmo de Prim, redes de telecomunicación, cableado de red

## ABSTRACT

This research addresses the efficient design of the network infrastructure for the Faculty of Accounting Sciences of the UNMSM, applying the concept of Minimum Expansion Trees through Prim's algorithm.

The problem lies in the current cabling, developed empirically, generating deficiencies, high costs and limitations for expansion. Through a qualitative approach and a descriptive applied research, the infrastructure was diagnosed, modeling the network as a weighted graph. The implementation of Prim's algorithm showed an 18.63% reduction in the amount of cable, maintaining connectivity and improving efficiency. This optimization implies economic benefits and contributes to the sustainability of the academic technological infrastructure.

The study proposes a systematic methodology for the design of networks in academic environments, evidencing the effectiveness of graph theory and voracious algorithms such as Prim to optimize network infrastructure in terms of efficiency, costs and sustainability.



**Keywords:** Graph theory, Minimum spanning tree, Prim's algorithm, telecommunication networks, network cabling.

# CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

En la era digital actual, la infraestructura de telecomunicaciones se ha transformado de manera radical, evolucionando desde sistemas aislados hacia una convergencia integral que unifica voz, video y datos en redes únicas orientadas a maximizar confiabilidad y accesibilidad. Esta integración ha elevado la importancia crítica del diseño adecuado del cableado físico como fundamento para la transmisión ininterrumpida de información, especialmente en entornos institucionales donde la eficiencia operativa depende directamente de la conectividad digital.

El presente trabajo de investigación aborda la problemática específica de la infraestructura de red en la Facultad de Ciencias Contables de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, donde un desarrollo empírico y no planificado ha generado ineficiencias significativas. La investigación se centra en la aplicación de principios matemáticos de teoría de grafos, específicamente el Algoritmo de Prim para la determinación de Árboles de Expansión Mínima (MST), con el objetivo fundamental de optimizar el diseño del cableado minimizando costos mientras se garantiza la conectividad integral.

La relevancia de este estudio radica en la amplia aplicabilidad de los modelos de Árboles de Expansión Mínima para problemas de minimización en diversos contextos, desde sistemas de transporte y autopistas hasta redes de telecomunicaciones. La metodología propuesta permite abordar sistemáticamente el desafío de diseñar infraestructuras de red eficientes que respondan a restricciones presupuestarias mientras mantienen la funcionalidad técnica requerida.

La estructura de la presente tesis se organiza en cinco capítulos claramente diferenciados:

El Capítulo I introduce la situación problemática, detallando las limitaciones de la infraestructura de red actual en la Facultad y su impacto en las actividades académicas y

administrativas. Se formulan con precisión tanto el problema general como los específicos, y se establecen los objetivos de investigación. La justificación teórica y práctica fundamenta la relevancia del estudio en el contexto institucional.

El Capítulo II desarrolla el marco teórico, presentando antecedentes nacionales e internacionales relevantes, así como las bases teóricas fundamentales sobre redes en entornos académicos, teoría de grafos, Árboles de Expansión Mínima y los algoritmos para su determinación, con énfasis particular en el Algoritmo de Prim. Este capítulo establece el soporte conceptual necesario para la investigación.

El Capítulo III describe detalladamente la metodología aplicada, caracterizando el tipo y diseño de investigación como cualitativo, aplicado y de nivel descriptivo. Se definen la unidad de análisis, población de estudio, técnicas de recolección de datos y los procedimientos específicos para el análisis e interpretación, incluyendo la formulación matemática del problema de optimización.

Finalmente, el Capítulo IV presenta los resultados obtenidos tras la aplicación del Algoritmo de Prim, analizando comparativamente la infraestructura actual frente al diseño optimizado. Los hallazgos demuestran una reducción significativa del 18.63% en la longitud total del cableado requerido, confirmando la eficacia del enfoque propuesto para minimizar costos mientras se mantiene la funcionalidad integral de la red.

Los resultados de esta investigación reflejan el comportamiento eficaz del Algoritmo de Prim respondiendo positivamente a los objetivos establecidos, demostrando el potencial de su aplicación no solo en el área de telecomunicaciones sino en cualquier contexto que requiera la minimización de costos, longitud u otros atributos de una red. El estudio contribuye así tanto al

campo teórico de la optimización como a la resolución práctica de problemáticas institucionales específicas, proporcionando un marco metodológico replicable en entornos similares.

## 1.1. Situación problemática

La infraestructura de red en entornos académicos modernos constituye un componente crítico para el adecuado funcionamiento de las actividades de enseñanza, aprendizaje, investigación y gestión administrativa. En este contexto, la calidad y eficiencia de dicha infraestructura determinan en gran medida la experiencia de los usuarios, la operatividad de los servicios digitales y la capacidad institucional para adaptarse a las crecientes demandas tecnológicas.

### 1.1.1. Descripción de la infraestructura de red actual en la Facultad

En la Facultad de Ciencias Contables de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, la infraestructura de red existente presenta características que reflejan un desarrollo histórico incremental y predominantemente empírico. La red actual presenta una notable diversidad en su composición, incluyendo diversos tipos de cableado (algunos de calidad insuficiente o deteriorados por haber superado su vida útil), ubicación irregular de los puntos de acceso dificultando la capacidad de rastreo, e instalaciones que evidencian desorganización con acumulaciones caóticas de cables. Asimismo, las áreas de cobertura inalámbrica presentan interrupciones notables en su alcance, generando zonas con conectividad deficiente o inexistente.

### 1.1.2. Limitaciones del cableado empírico existente

El desarrollo no planificado de la infraestructura ha generado múltiples limitaciones técnicas y operativas. La ausencia de documentación técnica detallada, particularmente de planos de cableado estructurado, dificulta considerablemente la identificación de la topología real de la red. Esta carencia documental representa un obstáculo fundamental para los procesos de diagnóstico, mantenimiento y optimización, prolongando los tiempos de respuesta ante incidencias y elevando los costos operativos.

El crecimiento orgánico e improvisado de la red ha derivado en una estructura redundante en ciertos segmentos, mientras que en otros resulta insuficiente para atender la demanda actual. La falta de estandarización en los componentes y procedimientos de instalación compromete la integridad del sistema en su conjunto, generando vulnerabilidades que afectan tanto el rendimiento como la seguridad de la red.

### 1.1.3. Impacto en actividades académicas y administrativas

Las deficiencias en el cableado de red producen repercusiones directas en las actividades de la Facultad. Los estudiantes, docentes y personal administrativo experimentan interrupciones frecuentes en la conectividad, velocidades de transferencia inconsistentes y dificultades para acceder a recursos digitales fundamentales para sus labores. Estos problemas técnicos inciden negativamente en:

- La implementación efectiva de metodologías pedagógicas innovadoras que requieren recursos digitales
- El acceso fluido a plataformas institucionales como el aula virtual, biblioteca digital y repositorios académicos

- La operatividad de sistemas administrativos esenciales como el Sistema de Gestión Documental (SGD), Sistema de Información de Recursos (SIR), San Market, Sistema Único de Matrícula (SUM) y Quipucamayoc, entre otros.

La ineficiencia de la infraestructura de red compromete la calidad de los procesos formativos y administrativos, generando frustración entre los usuarios y limitando el potencial de digitalización institucional.

### 1.1.4. Desafíos para la expansión futura

El panorama actual presenta obstáculos significativos para la evolución tecnológica de la Facultad. La ausencia de una arquitectura de red coherente y documentada dificulta considerablemente:

- La planificación estratégica para la expansión de la infraestructura
- La incorporación de nuevas tecnologías emergentes que demandan mayor capacidad y estabilidad
- La optimización de recursos para mejorar la relación costo–beneficio de las inversiones tecnológicas
- La implementación de políticas de seguridad informática adecuadas a las necesidades institucionales
- La adopción de estándares de sostenibilidad ambiental y eficiencia energética

Estos desafíos se intensifican ante el crecimiento continuo en la demanda de ancho de banda, la diversificación de dispositivos conectados y la evolución de las aplicaciones académicas y administrativas hacia entornos cada vez más dependientes de la conectividad.

En este contexto, la aplicación de principios de diseño de redes eficientes, mediante Árboles de Expansión Mínima (MST), representa una alternativa metodológica prometedora para enfrentar los desafíos identificados. Esta aproximación permitiría optimizar la topología de la red, minimizando la longitud total del cableado, reduciendo la complejidad estructural y mejorando el flujo de datos. Los beneficios potenciales incluyen una disminución significativa en los costos de infraestructura, energía y mantenimiento, así como una mejora sustancial en la sostenibilidad general de la red académica.

La reestructuración integral de la infraestructura de red de la Facultad de Ciencias Contables, aplicando principios científicos de optimización, mediante Árbol de Expansión Mínima (MST), para garantizar una red eficiente y de alto rendimiento, constituye una necesidad imperativa para garantizar el soporte tecnológico adecuado a las funciones académicas y administrativas, así como para establecer las condiciones propicias para la evolución digital de la institución.

## 1.2. Formulación del problema

Después de analizar detalladamente la problemática identificada, el presente trabajo se orienta a responder las siguientes interrogantes fundamentales:

### 1.2.1. Problema general:

¿Cómo el diseño de una infraestructura de red mediante Árboles de Expansión Mínima permitiría optimizar la eficiencia, reducir costos y mejorar la sostenibilidad en la Facultad de Ciencias Contables de la UNMSM?

### 1.2.2. Problemas específicos:

- PE1: ¿Cuál es el estado actual, viabilidad y limitaciones de la infraestructura de red de la Facultad de Ciencias Contables de la UNMSM según un análisis cualitativo?

- PE2: ¿De qué manera se puede representar la infraestructura de red de la Facultad de Ciencias Contables como un grafo ponderado que refleje adecuadamente sus características y requerimientos?

- PE3: ¿Cómo puede el Algoritmo de Prim determinar las conexiones óptimas para la infraestructura de red de la Facultad de Ciencias Contables?

- PE4: ¿Cuál es el impacto práctico (costos, sostenibilidad, viabilidad y escalabilidad) al implementar el diseño de red mediante Árboles de Expansión Mínima en la Facultad de Ciencias Contables?

## 1.3. Justificación de la investigación

### 1.3.1. Justificación teórica

Las instituciones académicas se enfrentan al complejo desafío de establecer infraestructuras de red robustas y eficientes en un entorno caracterizado por limitaciones presupuestarias y una creciente demanda tecnológica. La ausencia de una planificación estructurada en la Facultad ha resultado en una implementación de red de carácter empírico, la cual no optimiza la utilización de los recursos disponibles ni asegura un rendimiento adecuado.

Ante esta problemática, el paradigma del Árbol de Expansión Mínima (MST) se presenta como una solución óptima. Basado en los principios de la teoría de grafos, esta metodología

posibilita el diseño de topologías de red que minimizan la longitud total del cableado, garantizando al mismo tiempo la conectividad integral entre todos los nodos.

- **Aplicación del Algoritmo de Prim en teoría de grafos**

La teoría de grafos constituye un marco matemático esencial para el análisis y diseño de redes. Dentro de esta teoría, los árboles representan grafos especiales con amplia aplicación en ciencias de la computación. El Problema del Árbol de Expansión Mínima (MST) es fundamental en este campo, pues busca identificar un subgrafo que conecte todos los vértices del grafo original utilizando el mínimo costo total de aristas, aspecto crítico en el diseño de redes donde la optimización de costos de conexión resulta prioritaria.

El Algoritmo de Prim ofrece una solución eficiente para resolver el MST en grafos ponderados no dirigidos. Mediante una estrategia voraz, construye progresivamente el árbol, incorporando en cada iteración la arista de menor peso que conecta un vértice del árbol actual con uno aún no incluido.

Su aplicabilidad abarca diversos contextos de diseño de redes, incluyendo comunicaciones, transporte y, en este proyecto, el cableado de redes en edificaciones. Al modelar la infraestructura de red de la Facultad de Ciencias Contables como un grafo (donde los nodos representan ubicaciones a conectar y las aristas simbolizan posibles conexiones con sus respectivas distancias) el Algoritmo de Prim permite determinar la topología que minimiza la cantidad de cable necesario, optimizando así los recursos del proyecto.

La eficiencia del algoritmo, tanto en complejidad temporal como en optimización de recursos, lo convierte en una herramienta invaluable para el diseño de redes en entornos académicos, atendiendo efectivamente las consideraciones de reducción de costos y sostenibilidad.

- **Eficiencia del algoritmo para redes con múltiples puntos de conexión**

Onofre (2020) en "Dimensionamiento óptimo de generación distribuida en redes de distribución basado en la teoría de grafos", evidencia la relevancia del algoritmo de Prim para la eficiencia en redes con múltiples puntos de conexión, ya que este permite hallar el árbol de expansión mínima (MST) que determina el enrutamiento más corto entre nodos de distribución, reduciendo pérdidas energéticas y optimizando recursos. Este estudio resalta cómo la aplicación de la teoría de grafos y los algoritmos MST mejoran la conexión de usuarios finales, contribuyendo significativamente a la eficiencia integral del sistema de distribución.

Por otro lado, Delgado (2021) en "Análisis y simulación de redes inalámbricas de próxima generación, mediante teoría de redes complejas", presenta información significativa sobre la eficiencia del algoritmo de Prim en redes con múltiples puntos de conexión, destacando su aplicación para la obtención de rutas cortas en la creación de redes de conectividad. Enfatiza la optimización de robustez y eficiencia energética como factores determinantes para el rendimiento del algoritmo en redes complejas, abordando además los desafíos particulares del consumo energético en redes de sensores inalámbricas donde múltiples nodos requieren mantener conectividad constante. Esto justifica la eficiencia del algoritmo de Prim en entornos de conectividad múltiple.

Ambos respaldan respalda sólidamente la aplicación del algoritmo de Prim en el estudio de Onofre (2020) se muestra que este algoritmo optimiza eficientemente la interconexión entre múltiples puntos, generando rutas mínimas que reducen pérdidas energéticas y maximizan recursos, aspectos cruciales para la sostenibilidad que se busca implementar en la Facultad de Ciencias Contables de la UNMSM. En tanto que, Delgado (2021) confirma su eficacia en estructuras de conectividad complejas, enfatizando la optimización energética y robustez del

sistema, elementos determinantes para reorganizar el cableado actualmente empírico de la facultad hacia un diseño sistemático y documentado que resuelva los inconvenientes existentes.

- **Contribución a metodologías de diseño de redes en entornos académicos**

En el ámbito de infraestructuras de red académicas, como la Facultad de Ciencias Contables de la UNMSM, este algoritmo permite optimizar estratégicamente el enrutamiento entre nodos, minimizando la longitud total de enlaces. Esta optimización se traduce directamente en reducción de costos de implementación y mantenimiento, además de mejorar significativamente el rendimiento en la transmisión de datos.

La aplicación del algoritmo de Prim trasciende el beneficio económico inmediato, contribuyendo activamente a la sostenibilidad mediante la reducción de materiales de cableado y la consecuente disminución en el consumo energético. Esta dimensión sostenible adquiere particular relevancia en entornos universitarios, donde tanto la eficiencia operativa como la responsabilidad ambiental constituyen prioridades institucionales.

La implementación de esta solución algorítmica proporciona, por tanto, un fundamento teórico robusto para abordar la problemática de diseño de redes en entornos académicos, combinando eficiencia computacional con optimización de recursos y sostenibilidad a largo plazo.

### 1.3.2. Justificación práctica

- **Mejora en la conectividad y rendimiento de la red**

La implementación de un diseño de red basado en Árboles de Expansión Mínima para la Facultad de Ciencias Contables de la UNMSM representa una solución significativa frente a la problemática actual. El cableado empírico existente, carente de planificación y documentación

técnica, ha generado inconsistencias en la conectividad que afectan directamente el desempeño académico y administrativo de la facultad. Un diseño optimizado garantizará una transmisión de datos más eficiente, con menor latencia y mayor fiabilidad, aspectos fundamentales para las actividades académicas contemporáneas que demandan acceso constante a recursos digitales, plataformas educativas y sistemas de gestión universitaria. Este enfoque se alinea directamente con el Objetivo de Desarrollo Sostenible 9 (Industria, Innovación e Infraestructura), que promueve el desarrollo de infraestructuras fiables, sostenibles y de calidad para apoyar el desarrollo económico y el bienestar humano, así como con el ODS 4 (Educación de Calidad), al facilitar el acceso equitativo a recursos educativos digitales necesarios para una formación académica contemporánea.

- **Reducción de costos de implementación y mantenimiento**

La aplicación de los principios matemáticos de optimización inherentes a los Árboles de Expansión Mínima permitirá minimizar la cantidad de recursos físicos necesarios para la implementación de la red, reduciendo significativamente los costos asociados a cableado, dispositivos de interconexión y mano de obra. Esta optimización no solo repercute en la inversión inicial, sino que establece las bases para un mantenimiento más económico y eficiente a largo plazo. La documentación técnica resultante facilitará la identificación y resolución de incidencias, disminuyendo el tiempo de inactividad y los costos operativos relacionados con el soporte técnico. Este enfoque económicamente eficiente contribuye al ODS 9, específicamente a la meta de aumentar el acceso a las tecnologías de la información de manera sostenible, al tiempo que promueve una gestión más eficiente de los recursos de la Facultad. Asimismo, una red debidamente planificada reduce el consumo energético, contribuyendo a la sostenibilidad financiera y ambiental de la Facultad, otro aspecto fundamental del ODS 9 que busca fomentar infraestructuras resilientes

y sostenibles.

- **Planificación efectiva para futuras expansiones**

El diseño estructurado de la red mediante la metodología propuesta no solo resolverá las deficiencias actuales, sino que establecerá un marco técnico escalable para futuras necesidades. La documentación completa del diseño permitirá a la Facultad de Ciencias Contables anticipar y planificar estratégicamente cualquier ampliación o modificación de la infraestructura de red, evitando las implementaciones ad hoc que han caracterizado el desarrollo de la red existente. Esta capacidad de adaptación controlada resultará fundamental ante el crecimiento de la población estudiantil, la incorporación de nuevos espacios académicos o la implementación de tecnologías emergentes en el entorno universitario. En consonancia con el ODS 4, esta planificación estratégica garantizará que la infraestructura tecnológica pueda adaptarse para seguir ofreciendo entornos de aprendizaje efectivos e inclusivos, facilitando la adopción de metodologías educativas innovadoras. Asimismo, responde a la visión del ODS 9 de construir infraestructuras resilientes y adaptables a los cambios tecnológicos, asegurando que las inversiones actuales mantengan su relevancia y funcionalidad en el futuro, maximizando así su impacto positivo en el entorno académico.

## 1.4. Objetivos

### 1.4.1. Objetivo general:

Diseñar una infraestructura de red eficiente para la Facultad de Ciencias Contables mediante Árbol de expansión mínima para alcanzar la reducción de costos y mayor sostenibilidad.

### 1.4.2. Objetivos específicos*:*

- OE1: Diagnosticar la viabilidad y posibles limitaciones de la red actual mediante un análisis cualitativo
- OE2: Modelar la infraestructura de red como un grafo ponderado
- OE3: Aplicar el Algoritmo de Prim para determinar las conexiones óptimas
- OE4: Evaluar el impacto práctico (costos, sostenibilidad, viabilidad, escalabilidad) de implementar el diseño de red MST.

# CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

## 2.1. Antecedentes de investigación

### 2.1.1. Antecedentes nacionales*:*

En el contexto de la investigación nacional sobre el diseño de redes en entornos académicos, dos trabajos relevantes han contribuido significativamente al campo. Estos trabajos son particularmente relevantes para el presente proyecto de tesis, ya que abordan aspectos críticos del diseño de redes y su impacto en la funcionalidad y eficiencia de los sistemas de comunicación en entornos educativos.

Santana (2020) en su Trabajo de Suficiencia Profesional “Diseño de una Red de Datos y la Calidad de Servicio en la Red de Salud de Chupaca”, propuso el diseño de una red de datos para mejorar la calidad del servicio en una institución de salud. Este estudio, de tipo aplicado y con un diseño preexperimental, destacó la importancia de una red de datos bien diseñada para optimizar la comunicación y los servicios en la Red de Salud de Chupaca. La investigación subraya cómo un diseño de red adecuado puede contribuir a la eficiencia y la satisfacción del usuario en el ámbito de la salud.

Por otra parte, Pimentel (2021) en su investigación titulada "Uso de Internet en el Rendimiento Académico de los Estudiantes del I Ciclo la Escuela Profesional de Sociología de la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión – Huacho–2018–1", estudió la influencia del internet en el rendimiento académico de los estudiantes universitarios. Este estudio, de tipo descriptivo correlacional no experimental, evidenció la importancia del acceso, la frecuencia de uso y la confiabilidad del internet en el desempeño académico de los alumnos. La investigación

resalta la necesidad de un uso adecuado del internet para potenciar el aprendizaje reflexivo y crítico en los estudiantes.

Ambas investigaciones resaltan la relevancia del diseño de redes y el uso de la tecnología en diferentes contextos. Mientras que Pimentel (2021) se enfoca en el ámbito académico e influencia del internet en el rendimiento estudiantil, Santana (2020) se centra en el diseño de una red de datos para mejorar la calidad del servicio en una institución de salud. Ambos estudios proporcionan un marco de referencia importante para la presente investigación, que busca diseñar una red eficiente en un entorno académico, optimizando costos y promoviendo la sostenibilidad mediante Árboles de Expansión Mínima.

### 2.1.2. Antecedentes internacionales

En el ámbito de la ingeniería de redes, el diseño de infraestructuras de comunicación en entornos académicos ha constituido un campo de estudio relevante debido a la creciente necesidad de optimizar recursos, reducir costos y garantizar la sostenibilidad de las implementaciones. Diversas investigaciones internacionales han explorado metodologías y enfoques que resultan pertinentes para el presente trabajo.

Morales y Quiña (2020), en su investigación titulada "Diseño de la red FTTH del barrio La León sector Chilibulo para la empresa Arteksolution Cía. Ltda." se centra en el diseño de una red de fibra óptica hasta el hogar (FTTH) para un barrio específico en Ecuador. Aunque el contexto es residencial, los métodos utilizados, como los algoritmos de Prim y Kruskal para encontrar el árbol de expansión mínima, son aplicables en entornos académicos. Estos algoritmos permiten optimizar el diseño de la red, reduciendo costos y asegurando una distribución eficiente de la infraestructura de red.

Los algoritmos de Prim y Kruskal son herramientas matemáticas que pueden ser utilizadas para diseñar una red de cableado. Estos algoritmos ayudan a minimizar la cantidad de cableado necesario, lo que reduce costos y optimiza la infraestructura. Además, el enfoque en la optimización y reducción de costos es directamente relevante para el objetivo de la tesis de diseñar un cableado de red eficiente.

Por otra parte, Cisneros y Ledesma (2023) desarrollaron una "Propuesta de una estrategia de diseño de red de campus empresarial considerando la disponibilidad, integridad y confidencialidad de la empresa empacadora de camarones", este estudio aborda el diseño de una red de campus empresarial, enfocándose en la redundancia y la seguridad de la red. Aunque el contexto es empresarial, las consideraciones sobre la disponibilidad y la integridad de la red son relevantes para entornos académicos, donde la confiabilidad y la seguridad de la infraestructura de red son cruciales para el funcionamiento diario de la institución.

Esta tesis proporciona una base sólida para considerar la redundancia y la seguridad en el diseño de la red. Estos aspectos son cruciales en un entorno académico, donde la interrupción del servicio puede afectar el aprendizaje y la administración. Además, la tesis ofrece una metodología para identificar y corregir vulnerabilidades en la red, lo que puede ser adaptado para el contexto de la Facultad de Ciencias Contables de la UNMSM.

Los trabajos anteriormente descritos constituyen referentes metodológicos y conceptuales complementarios para la presente investigación, aportando elementos técnicos para la optimización matemática del diseño de red mediante algoritmos de árbol de expansión mínima, así como consideraciones sobre disponibilidad y seguridad que resultan imprescindibles en el contexto académico de la implementación.

## 2.2. Bases teóricas

### 2.2.1. Fundamentos de redes en entornos académicos

Para el presente proyecto, la implementación de un sistema de cableado de red eficiente es crucial para mejorar la conectividad y reducir costos. La arquitectura y los componentes esenciales de una red académica deben ser diseñados teniendo en cuenta las necesidades específicas de la Facultad, incluyendo la capacidad de soportar múltiples aplicaciones educativas y administrativas

- **Arquitectura y componentes esenciales de redes**

Una red académica debe ser capaz de soportar una amplia variedad de servicios, desde la transmisión de datos para la gestión de información hasta la conexión de dispositivos de aprendizaje en el aula. Los componentes esenciales de una red incluyen:

- **Cableado estructurado:** Un sistema de cableado estructurado, como el descrito en la tesis de Coasaca (2022), es fundamental para garantizar una conectividad confiable y escalable. Este sistema debe cumplir con estándares internacionales como ANSI/TIA/EIA–568A y TIA/EIA–568B, que aseguran la interoperabilidad y la calidad de la red.

- **Switches y routers:** Estos dispositivos son esenciales para la administración y el enrutamiento de datos dentro de la red. La elección de estos componentes debe basarse en la capacidad de soportar el tráfico actual y futuro de la institución.

- **Servidores:** Los servidores son el corazón de la red académica, proporcionando almacenamiento centralizado, servicios de autenticación y gestión de recursos. La

implementación de servidores robustos y seguros es crucial para el funcionamiento eficiente de la red.

- **Topologías físicas y lógicas aplicables a entornos académicos**

Las topologías de red delinean la organización estructural de los componentes de comunicación, estableciendo los esquemas de interconexión que definen la funcionalidad integral del sistema. En los entornos educativos la selección apropiada de estas topologías (como se muestra en la tabla 1) debe basarse en criterios como la distribución geográfica de los edificios, los requerimientos de ancho de banda, los niveles de seguridad necesarios y la potencialidad de expansión futura.

**Tabla 1**

*Topologías físicas en entornos académicos*

| | Tipos de Topología | | |
|---|---|---|---|
| | Estrella | Árbol | Malla |
| Descripción | Todos los dispositivos están conectados a un punto central. | Similar a la topología en estrella, pero con múltiples niveles de jerarquía. | Cada dispositivo está conectado a todos los demás dispositivos. Alta redundancia y confiabilidad |
| Características | Fácil de gestionar y mantener | Escalable y flexible | Costoso y complejo de implementar |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | Escalable | | |
| Aplicaciones | Redes de campus universitario.<br>Facultades con múltiples aulas y oficinas, donde se requiere una gestión centralizada. | Campus universitarios grandes con múltiples edificios.<br>Facultades con una estructura jerárquica clara y múltiples segmentos de red. | Redes críticas y de alta disponibilidad.<br>Redes de campus con requisitos de alta seguridad |

- **Modelos jerárquicos para campus universitarios**

Los modelos jerárquicos son esenciales para la gestión eficiente de redes en campus universitarios. Estos modelos dividen la red en capas, cada una con una función específica, lo que facilita la administración y el escalado de la red. Típicamente son organizados en tres capas:

- **Capa de núcleo:** Esta capa es responsable de la conectividad de alta velocidad y la distribución de tráfico entre diferentes segmentos de la red.
- **Capa de distribución:** Esta capa actúa como intermediaria entre la capa de núcleo y la capa de acceso, proporcionando servicios de enrutamiento y filtrado.
- **Capa de acceso:** Esta capa proporciona conectividad directa a los usuarios finales y dispositivos de red.

Este enfoque jerárquico resulta particularmente valioso en entornos académicos donde diferentes facultades y dependencias requieren políticas de acceso diferenciadas, al tiempo que

comparten recursos centralizados como bibliotecas digitales, sistemas académicos y administrativos.

- **Configuraciones óptimas para facultades**

Las configuraciones de red específicas para facultades universitarias deben atender a los requerimientos particulares de cada unidad académica, considerando aspectos como densidad de usuarios, tipos de aplicaciones utilizadas y necesidades de segmentación. Factores como laboratorios especializados, aulas informáticas, centros de investigación y oficinas administrativas presentan demandas diferenciadas que deben ser contempladas en el diseño.

Para el presente proyecto, aspectos como el acceso a bases de datos especializadas, software de simulación contable y sistemas de gestión académica requieren consideraciones específicas en la configuración de la red.

- **Estándares de cableado estructurado en entornos académicos**

El cableado estructurado es la infraestructura física primordial que sustenta las comunicaciones digitales en las instituciones educativas. Su implementación, en conformidad con estándares internacionales, asegura la compatibilidad, el rendimiento y la perdurabilidad de la inversión.

- **Normativa ANSI/TIA/EIA aplicable a instituciones educativas**

La implementación de redes en entornos académicos debe adherirse a los estándares y normativas internacionales que establecen las mejores prácticas para el diseño e instalación de infraestructuras de comunicaciones. Rivera et al. (2024) explican que existen dos conjuntos principales de normas sobre cableado estructurado: las normas internacionales desarrolladas por

la Organización Internacional de Normalización (ISO) y la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC), siendo la ISO/IEC 11801 la más importante; y las normas estadounidenses desarrolladas por la Asociación de Industrias de Telecomunicaciones (TIA), con ANSI/TIA/EIA–568 como la más relevante.

Según estos autores, las normas ANSI/TIA/EIA proporcionan especificaciones técnicas fundamentales para sistemas de cableado estructurado que aseguran compatibilidad, rendimiento y escalabilidad. Entre las más importantes se encuentran:

- **ANSI/TIA–568:** conjunto de estándares para el cableado comercial de productos y servicios de telecomunicaciones.
- **ANSI/TIA–569–E (2019):** normativa sobre caminos y espacios de telecomunicaciones.
- **ANSI/TIA–606–D (2021):** estándar de administración para infraestructura de telecomunicaciones.
- **ANSI/TIA–607–E (2024):** conexión a tierra y puesta a tierra de telecomunicaciones.

El estándar ANSI/TIA–4966–A (2022) representa, en opinión de Rivera et al. (2024, p. 79), una guía integral para el diseño, la instalación y el mantenimiento de las infraestructuras de telecomunicaciones en entornos educativos. Este estándar aborda los requisitos específicos de escuelas, colegios y universidades, especificando la estructura del sistema de cableado, las topologías, distancias y procedimientos de instalación para soportar diversas aplicaciones educativas.

La adherencia a estas normativas no solo garantiza la calidad técnica de la instalación, sino que también facilita futuras expansiones, actualizaciones y mantenimiento del sistema, aspectos críticos en ambientes universitarios donde la evolución tecnológica es constante.

- **Consideraciones especiales para edificios de facultades**

Los edificios de facultades universitarias presentan desafíos únicos para el diseño de redes, incluyendo la edad de las construcciones, las limitaciones arquitectónicas, la organización de los espacios académicos y administrativos, y las necesidades específicas de conectividad, lo que requiere soluciones personalizadas. De acuerdo con Rivera et al. (2024, p. 73), la infraestructura de cableado en los edificios corporativos a menudo se pasa por alto, y la provisión de cables generalmente no se contempla dentro de los gastos de la construcción, situación que se replica en entornos académicos.

Aspectos como la penetración de señales inalámbricas a través de muros históricos, la implementación de canalizaciones en instalaciones protegidas patrimonialmente, o la distribución de puntos de acceso en áreas de alta concentración estudiantil requieren abordajes técnicos específicos. En el presente proyecto, la implementación de un diseño optimizado mediante árboles de expansión mínima utilizando el algoritmo de Prim representa una aproximación científica para superar las limitaciones del crecimiento empírico e indocumentado de la infraestructura de red existente.

Esta metodología se alinea con lo que Rivera et al. (2024) denominan una infraestructura que garantiza la seguridad y estabilidad (p. 73), diseñada para ofrecer servicios de telecomunicaciones conforme a los nuevos requerimientos del manejo de información. La aplicación de estándares normalizados, particularmente aquellos orientados a entornos educativos

como el ANSI/TIA–4966–A, proporciona el marco adecuado para desarrollar una red que mejore significativamente tanto la eficiencia operativa como la sostenibilidad económica del sistema de conectividad en la facultad.

### 2.2.2. Teoría de grafos

La Teoría de Grafos es una rama de las matemáticas que estudia las estructuras llamadas grafos, los cuales son utilizados para modelar relaciones entre objetos. En el presente proyecto, la Teoría de Grafos proporciona el marco teórico fundamental para el diseño de redes en entornos académicos, específicamente para la optimización del cableado de red en la Facultad de Ciencias Contables de la UNMSM.

- **Conceptos fundamentales**

Un grafo $G$ se define como una pareja ordenada $G=(V,E)$, donde $V$ es un conjunto finito de elementos llamados vértices o nodos, y $E$ es un conjunto de pares no ordenados de vértices llamados aristas o arcos (Cormen et al., 2022). Los vértices representan entidades, mientras que las aristas representan las relaciones entre dichas entidades.

En el contexto del cableado de red, los vértices pueden representar puntos de conexión (como salas de clase, oficinas, servidores, etc.), y las aristas representan los cables que conectan estos puntos.

- **Grafos ponderados**

Un grafo ponderado es un grafo en el cual cada arista tiene asociado un número real llamado peso. Estos pesos pueden representar distancias, costos, capacidades u otras métricas relevantes (Cormen et al., 2022). En el caso del cableado de red, los pesos pueden representar la

longitud del cable necesario para conectar dos puntos, el costo de instalación, o cualquier otra métrica que sea relevante para el diseño de la red.

Formalmente, un grafo ponderado se define como $G=(V,E,w)$, donde $w:E\to R$ es una función que asigna un peso a cada arista.

- **Conectividad y caminos**

La conectividad en un grafo se refiere a la capacidad de los vértices de estar conectados mediante caminos. Un grafo es conexo si existe un camino entre cualquier par de vértices (West, 2000). En el contexto de un cableado de red, la conectividad es crucial para asegurar que todos los puntos de conexión estén interconectados.

Un camino en un grafo es una secuencia de vértices $v_1, v_2, \ldots, v_k$ tal que para cada $i \text{ con } 1 \le i < k$, la arista $\{v_i + v_{i+1}\}$ pertenece a $E$. La longitud de un camino es la suma de los pesos de las aristas que lo componen. En el diseño de redes, es importante encontrar caminos de costo mínimo para minimizar el uso de recursos y maximizar la eficiencia.

### 2.2.3. Árboles de Expansión Mínima (MST)

Los Árboles de Expansión Mínima (MST) son una herramienta fundamental en la Teoría de Grafos y tienen aplicaciones prácticas en una amplia variedad de campos, incluyendo el diseño de redes de cableado y transporte. En el presente proyecto, los MST son esenciales para diseñar un cableado de red eficiente y económico en la Facultad.

Un Árbol de Expansión Mínima de un grafo conexo ponderado $G=(V,E,w)$ es un subgrafo que es un árbol y que incluye todos los vértices de G, con la propiedad de que la suma de

los pesos de sus aristas es mínima entre todos los árboles de expansión posibles (Cormen et al., 2020).

- **Propiedades fundamentales**

Las propiedades fundamentales de los MST incluyen:

- **Unicidad y No Unicidad:** Si todos los pesos de las aristas son distintos, el MST es único. Sin embargo, si hay aristas con pesos iguales, pueden existir varios MST (Cormen et al., 2022).

- **Corte y Ciclo:** Un MST nunca contiene un ciclo y siempre incluye el conjunto de aristas de peso mínimo que conectan todos los vértices (Cormen et al., 2022).

- **Propiedad de Corte:** Si un conjunto de aristas $A$ es parte de un MST y $(S, S-V)$ es un corte que respeta $A$, entonces la arista de peso mínimo que cruza el corte debe estar en todos los MST que contienen $A$ (Cormen et al., 2022).

- **Importancia en el diseño óptimo de redes**

Los MST son cruciales en el diseño de redes debido a su capacidad para proporcionar una solución óptima que minimiza el costo total de conexión entre todos los nodos.

En el contexto del cableado de red, los MST aseguran que todos los puntos de conexión (vértices) estén interconectados de manera eficiente, utilizando la mínima cantidad de cable posible (Cormen et al., 2022). Esto no solo reduce los costos de instalación y mantenimiento, sino que también maximiza la eficiencia de la red.

En la tesis "Desarrollo de una herramienta computacional para la determinación de la

ubicación óptima de transformadores de distribución aplicando clustering y árbol de expansión mínima" (Tipán Chinchero, 2024), se describe cómo los MST pueden ser utilizados para optimizar la ubicación de transformadores de distribución en redes eléctricas. El autor utiliza el algoritmo de Kruskal y Prim para encontrar el MST, lo cual es un ejemplo práctico de cómo los MST pueden ser aplicados en la planificación de redes (Tipán, 2024).

- **Optimización de recursos mediante MST**

La utilización de MST en el diseño de redes permite la optimización de recursos de manera significativa. Al minimizar la cantidad de cable necesario para conectar todos los puntos, se reduce el costo de materiales y mano de obra. Además, la estructura de un MST asegura una distribución equitativa de la carga en la red, lo que puede mejorar la confiabilidad y el rendimiento del sistema (Cormen et al., 2022).

En la Facultad de Ciencias Contables de la UNMSM, la implementación de un cableado de red basado en MST permitirá superar los inconvenientes actuales causados por un cableado desarrollado de manera empírica y sin un plano adecuado. Este enfoque no solo reducirá los costos de instalación y mantenimiento, sino que también contribuirá a una mayor sostenibilidad al minimizar el uso de recursos.

### 2.2.4. Algoritmos para MST

- **Algoritmo de Prim**

  - **Fundamentos teóricos**

    El algoritmo de Prim, desarrollado por Robert C. Prim en 1957, es un método voraz (greedy) diseñado para la construcción de árboles de expansión mínima en grafos

conexos ponderados. Este algoritmo resulta particularmente relevante en aplicaciones de redes físicas donde se busca minimizar la longitud total del cableado manteniendo la conectividad completa del sistema (Cormen et al., 2022). La idea fundamental del algoritmo radica en la expansión progresiva de un subárbol, incorporando en cada paso la arista de menor peso que conecte el árbol parcial con un vértice aún no incluido.

- **Funcionamiento paso a paso**

El algoritmo de Prim opera de la siguiente manera:

1. **Inicialización:**

   Se selecciona un nodo inicial arbitrario como punto de partida. A continuación, se crea un conjunto T (destinado a representar el árbol) que solo tiene este nodo inicial. Además, se establece un conjunto de candidatos que incluye todas las aristas que conectan el nodo inicial con sus nodos adyacentes.

2. **Proceso iterativo**

   Mientras no existan nodos que formen parte del conjunto $T$:

   - Seleccionar la arista $(u,v)$ de menor peso, de tal manera que el nodo u pertenece al conjunto $T$ y el nodo $v$ no pertenece a $T$.
   - El nodo v se añade al conjunto $T$.
   - La arista $(u,v)$ se incorpora al árbol de expansión mínima.
   - Se actualiza el conjunto de candidatos, incluyendo todas las aristas $(u,w)$ donde el nodo $w$ no se encuentra en $T$.

3. **Finalización**

   El algoritmo concluye cuando todos los nodos han sido incorporados al conjunto T. El resultado obtenido es un árbol de expansión mínima para el grafo original.

   El algoritmo siempre mantiene un único árbol conectado y lo expande de manera gradual añadiendo en cada paso el nodo más cercano al árbol actual, hasta que finalmente incluye todos los vértices del grafo original.

- **Complejidad computacional**

  La eficiencia del algoritmo de Prim varía considerablemente en función de la estructura de datos empleada para su implementación:

  - ***Implementación Básica:*** Utilizando listas de adyacencia y búsqueda lineal para identificar la arista de menor peso, la complejidad computacional es $O(V^2)$, donde $V$ representa el número de vértices del grafo.

  - ***Implementación Optimizada:*** Al implementar el algoritmo con una cola de prioridad, como un montículo binario, la complejidad se reduce a $O(E \log V)$, donde $E$ es el número de aristas y $V$ el número de vértices.

  - ***Implementación Avanzada:*** Con el uso de un montículo de Fibonacci, la complejidad puede disminuir aún más, alcanzando $O(E + V \log V)$.

En redes densas, donde el número de aristas $E$ es aproximadamente $V^2$, la implementación básica puede resultar más eficiente. En contraste, en redes dispersas, donde el número de aristas

es significativamente menor, las implementaciones que utilizan colas de prioridad ofrecen un mejor rendimiento.

- **Algoritmo de Kruskal (análisis comparativo)**

El algoritmo de Kruskal, desarrollado por Joseph Kruskal en 1956, determina el árbol de expansión mínima en un grafo conexo con pesos. Este algoritmo ordena todas las aristas del grafo de forma ascendente según su peso y las incorpora al árbol si no inducen la formación de ciclos. Para verificar eficientemente la creación de ciclos, emplea la estructura de datos "Unión–Búsqueda" (Union–Find). Mientras que Prim construye el árbol a partir de un único vértice inicial, manteniendo siempre un árbol conectado, Kruskal puede mantener múltiples componentes conectados que se fusionan progresivamente hasta constituir el árbol de expansión mínima final.

**Tabla 2**

*Comparación de los algoritmos Prim o Kruskal*

| Aspecto | Algoritmo de Prim | Algoritmo de Kruskal |
|---|---|---|
| Enfoque | Expansión de un único árbol desde un vértice inicial | Ordena todas las aristas y las añade al bosque si no forman ciclos, uniendo árboles. |
| Criterio de selección | Selecciona la arista de menor peso que conecte el árbol con un vértice externo. | Selecciona globalmente la arista de menor peso que no forme ciclos |
| Escenario óptimo | Grafos densos con alto número de aristas | Grafos dispersos con pocas aristas en relación a los vértices |

| | | |
|---|---|---|
| Aplicación en redes | Idóneo para diseño de redes en edificios compactos con múltiples conexiones potenciales | Preferible para redes entre edificios distantes con limitadas opciones de interconexión |
| Facilidad de implementación | Más intuitivo para seguimiento del crecimiento de la red | Requiere estructura Union–Find |

Prim es preferible debido a la naturaleza densa de las redes de cableado estructurado en edificios académicos, donde muchos puntos de red pueden conectarse entre sí. Su enfoque de crecimiento incremental, partiendo de un punto central y expandiéndose, se alinea naturalmente con el diseño de cableado. Además, Prim facilita la visualización del proceso de expansión, lo cual es útil para la planificación práctica. Su implementación computacional es óptima para redes de tamaño moderado, y permite adaptaciones locales sin necesidad de recalcular todo el árbol, algo común en proyectos de cableado.

- **Algoritmo de Borůvka (análisis comparativo)**

El algoritmo de Borůvka, desarrollado por Otakar Borůvka en 1926, representa uno de los primeros métodos conocidos para la determinación de árboles de expansión mínima. Su funcionamiento se basa en la identificación iterativa, para cada componente conexo existente, de la arista de mínimo peso que conecta dicho componente con otro distinto. La incorporación simultánea de estas aristas al árbol de expansión mínima provoca la fusión de los componentes. Este proceso se repite secuencialmente hasta la obtención de un único componente conexo. Una característica distintiva de Borůvka es su naturaleza paralela, que permite la toma de múltiples decisiones de selección de aristas de forma simultánea, en contraposición al enfoque secuencial

característico del algoritmo de Prim.

**Tabla 3**

*Comparación de los algoritmos Prim o Borůvka*

| Aspecto | Algoritmo de Prim | Algoritmo de Borůvka |
|---|---|---|
| Enfoque | Expansión de un único árbol desde un vértice inicial | Combinar componentes conectados por aristas de menor peso |
| Criterio de selección | Selecciona la arista de menor peso que conecte el árbol con un vértice externo. | Selecciona todas las aristas de menor peso que conecten componentes no conectadas |
| Escenario óptimo | Grafos densos con alto número de aristas | Gráficos dispersos con poca relación entre los vértices |
| Aplicación en redes | Idóneo para diseño de redes en edificios compactos con múltiples conexiones potenciales | Preferible para redes dispersas con limitadas opciones de interconexión |
| Facilidad de implementación | Más intuitivo para seguimiento del crecimiento de la red | Requiere una estructura para manejo de componentes (Union–Find) |
| Adaptabilidad a cambios | Facilidad para agregar nuevos vértices y aristas. | Requiere recalcular el árbol completo al agregar nuevos vértices o aristas. |

Si bien Borůvka destaca en computación paralela, Prim es más adecuado para el diseño de la red en la Facultad de Ciencias Contables debido a su implementación más sencilla y directa. La

naturaleza incremental del diseño de cableado, que suele partir de puntos centrales, se ajusta mejor al crecimiento secuencial de Prim. Para el tamaño de la red de una facultad, las ventajas de paralelización de Borůvka no son significativas. Además, Prim ofrece mayor visibilidad y control sobre el proceso de diseño, facilitando la incorporación de restricciones físicas existentes de manera más intuitiva.

- **Criterios de selección del algoritmo adecuado**

La selección del algoritmo más apropiado para el diseño de redes mediante árboles de expansión mínima debe fundamentarse en un análisis riguroso de las características específicas del entorno académico y los objetivos del proyecto. Para el caso de la Facultad de Ciencias Contables de la UNMSM, se consideran los siguientes criterios:

1. **Características topológicas de la infraestructura:**

   La configuración física del edificio, que incluye múltiples niveles y una distribución específica de espacios, es particularmente adecuada para el algoritmo de Prim. Este enfoque permite diseñar una red que comience en puntos clave y se expanda de manera gradual, respetando al mismo tiempo las restricciones arquitectónicas existentes. Esta estrategia garantiza una distribución óptima de los cables.

2. **Objetivos de Implementación**

   El proyecto tiene como objetivo principal la optimización de costos y la garantía de un rendimiento eficiente de la red. El algoritmo de Prim logra equilibrar estos dos aspectos al minimizar la longitud del cableado y al

establecer una estructura centralizada. Este enfoque es esencial para satisfacer las necesidades académicas y para permitir ajustes tempranos y visualizaciones.

3. **Restricciones Presupuestarias y Logísticas**

   Debido a las limitaciones económicas, es necesario implementar soluciones viables. El algoritmo de Prim permite una implementación en fases, lo que facilita la gestión de recursos y la identificación temprana de obstáculos logísticos, como permisos o necesidades de equipos específicos.

4. **Características Computacionales**

   Para la escala de la facultad, es fundamental que los requisitos computacionales sean manejables con equipos estándar. La eficiencia del algoritmo de Prim $(O(E \log V))$ es adecuada para modelar la red y permite realizar múltiples iteraciones del diseño para ajustes o análisis.

5. **Perspectivas de Mantenimiento y Expansión**

   La red debe ser adaptable a futuras necesidades. La estructura jerárquica del algoritmo de Prim facilita la identificación de segmentos críticos y permite expansiones modulares sin afectar la estructura general. Esto es crucial en un entorno académico que está en constante evolución.

Como señala Cormen et al. (2022) en "Introduction to Algorithms", la elección entre algoritmos para MST no debe basarse únicamente en la complejidad teórica, sino también en las

características específicas del problema a resolver y las restricciones prácticas de implementación. En el contexto de cableado de red, factores como la topología del edificio, ubicación de equipos centrales, y limitaciones constructivas pueden ser tan determinantes como la eficiencia algorítmica pura.

Es por ello que la consideración integrada de estos cinco criterios fundamentales, orientados específicamente al presente proyecto, confirma la idoneidad del algoritmo de Prim para el diseño eficiente de redes. Su aproximación de crecimiento incremental desde puntos centrales, adaptabilidad a restricciones físicas existentes y capacidad para visualizar el proceso de expansión lo posicionan como la alternativa algorítmica óptima para cumplir con los objetivos de reducción de costos y sostenibilidad planteados.

### 2.2.5. Diseño de redes eficientes: costos y sostenibilidad

- **Análisis económico en infraestructuras de red en entornos académicos**

El diseño de las infraestructuras de red en entornos académicos exige una evaluación económica exhaustiva con el fin de optimizar la asignación de recursos. Tal análisis ha de contemplar tanto la inversión inicial como los gastos operativos a largo plazo, procurando una armonía entre la funcionalidad, la escalabilidad y la eficiencia económica.

- **Modelos de estimación de costos aplicables a facultades**

Para calcular los gastos de las redes en entornos académicos, es fundamental crear modelos que se ajusten a las necesidades particulares. Estos modelos deben tener en cuenta la cantidad de usuarios, las demandas de ancho de banda, la ubicación de los edificios y los requerimientos de conexión específicos. La metodología del Costo Total de Propiedad (TCO) es útil porque permite

analizar no solo la inversión inicial en equipos e instalación, sino también los gastos de mantenimiento, modernización y energía durante toda la vida útil de la red. Este enfoque facilita tomar decisiones bien fundamentadas al ofrecer una perspectiva completa de los recursos económicos que se necesitan para mantener la red académica operativa a largo plazo.

- **Optimización de presupuestos mediante MST**

Para optimizar el presupuesto al diseñar redes, una herramienta matemática esencial son los algoritmos de Árbol de Expansión Mínima. Al aplicar el algoritmo de Prim en este proyecto, se puede definir la estructura de conexiones que requiere la mínima cantidad de cableado para mantener todos los nodos conectados. Esta optimización del diseño reduce considerablemente los costos de materiales y de la mano de obra necesaria para construir la red. Adicionalmente, una red diseñada con MST simplifica su administración y mantenimiento al disminuir los posibles puntos de falla, lo que a su vez ayuda a reducir los gastos operativos a largo plazo.

- **Relación costo–beneficio en implementaciones universitarias**

La evaluación de la relación costo–beneficio en la implementación de redes en entornos académicos trasciende el mero análisis financiero para incorporar el impacto en los ámbitos académico y administrativo. Una infraestructura de red eficiente robustece las capacidades educativas al facilitar el acceso a recursos digitales, plataformas de aprendizaje y herramientas colaborativas. Al mismo tiempo, optimiza los procesos administrativos mediante una gestión de información institucional más eficaz. Los beneficios tangibles comprenden la reducción en los tiempos de respuesta, una mayor disponibilidad de servicios digitales y una mejora en la experiencia del usuario, mientras que los intangibles abarcan el fortalecimiento de la reputación

institucional y la preparación para futuros desarrollos tecnológicos. La cuantificación de estos beneficios en contraposición con los costos de implementación fundamenta la justificación de las inversiones en infraestructuras de red en entornos académicos desde una perspectiva holística, contribuyendo de manera significativa al Objetivo de Desarrollo Sostenible 4 (Educación de Calidad) al expandir el acceso a recursos educativos y al ODS 9 (Industria, Innovación e Infraestructura) mediante la creación de una infraestructura tecnológica avanzada y resiliente.

- **Sostenibilidad en diseño de redes en entornos académicos**

La sostenibilidad de redes en entornos educativos abarca dimensiones fundamentales que garantizan la viabilidad a largo plazo de las infraestructuras tecnológicas académicas. En el ámbito de la eficiencia energética, se han implementado estrategias como la adopción de equipos certificados de bajo consumo, sistemas inteligentes de gestión energética y optimización topológica mediante Árbol de Expansión Mínima. Estas medidas reducen significativamente la huella energética al minimizar el despliegue de cableado. Adicionalmente, la virtualización de servicios y consolidación de servidores optimiza el uso de recursos computacionales, disminuyendo el consumo energético y los requerimientos de espacio físico y refrigeración.

El análisis del ciclo vital de los componentes considera desde su adquisición hasta su disposición final, permitiendo planificar renovaciones tecnológicas antes de la obsolescencia y evitando interrupciones imprevistas. Las estrategias sostenibles incluyen la prolongación de la vida útil mediante actualizaciones parciales, reacondicionamiento de equipos y políticas de disposición responsable que incorporan procesos de reciclaje y reutilización, reduciendo así el impacto ambiental del reemplazo tecnológico y cumpliendo con la normativa sobre gestión de residuos electrónicos.

Para evaluar y mejorar continuamente el desempeño ambiental, se implementan métricas de sostenibilidad que ofrecen indicadores cuantificables. En el presente proyecto, estos indicadores incluyen el consumo energético por usuario, la eficiencia en el uso del ancho de banda, el tiempo medio entre fallos y la huella de carbono operativa. Un sistema de monitoreo eficaz facilita identificar oportunidades de optimización y valorar el impacto de las intervenciones realizadas. La comparación con estándares internacionales permite contextualizar el rendimiento institucional y establecer objetivos realistas de mejora continua, aspectos esenciales para desarrollar infraestructuras de red académicas económica y ambientalmente responsables.

## 2.3. Marco conceptual o glosario

- **Términos relacionados con redes**

  - **Cableado estructurado:** Sistema de cables, conectores y dispositivos diseñado para establecer una infraestructura de telecomunicaciones organizada y estandarizada, facilitando la administración y modificación de la red. Cumple con estándares como ANSI/TIA/EIA–568 para garantizar su calidad, rendimiento y compatibilidad.

  - **Topología de red:** Estructura o disposición física o lógica de los elementos que componen una red. Define cómo se interconectan los nodos y cómo se transmiten los datos.

  - **Switch:** Dispositivo de interconexión que permite la comunicación entre dispositivos dentro de una red local y cuyas especificaciones técnicas determinan la velocidad de transmisión de datos.

- **Routers:** Dispositivos de hardware que permiten la interconexión de ordenadores en red, encargados de establecer la ruta que destinará a cada paquete de datos dentro de la red.

- **Modelo jerárquico de red:** Estructura organizativa de red dividida en tres capas (núcleo, distribución y acceso), cada una con funciones específicas, facilitando la administración y escalabilidad de la infraestructura de red.

- **Términos relacionados con teoría de grafos**

  - **Grafo:** Estructura matemática compuesta por un conjunto de vértices (o nodos) y un conjunto de aristas (o arcos) que establecen relaciones entre estos vértices.

  - **Grafo ponderado:** Representación matemática donde cada conexión entre nodos tiene asociado un valor numérico (peso), que en el contexto del proyecto representa la longitud del cable.

  - **Conectividad:** En teoría de grafos, propiedad que determina la existencia de al menos un camino entre cualquier par de vértices de un grafo.

  - **Árbol de Expansión Mínima (MST):** Subgrafo que conecta todos los vértices de un grafo sin formar ciclos y cuya suma total de pesos es mínima. En el contexto de redes, representa la configuración de conexiones más eficiente en términos de costo.

  - **Algoritmo de Prim:** Método que construye un árbol de expansión mínima comenzando desde un nodo arbitrario y expandiéndose por las aristas de menor

peso hasta incluir todos los nodos. Es ideal para redes densas como la de una facultad.

# CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

## 3.1. Tipo y diseño de investigación

### 3.1.1. Enfoque cualitativo

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque cualitativo, permitiendo un análisis profundo de la situación actual de la red de la Facultad. Este enfoque facilitó la comprensión holística de las necesidades, deficiencias y oportunidades de mejora en la infraestructura de red existente.

### 3.1.2. Investigación aplicada

El estudio corresponde a una investigación aplicada, ya que buscó utilizar conocimientos específicos de teoría de grafos y algoritmos de optimización para resolver un problema concreto: el diseño eficiente de la red en la Facultad. Se implementó los principios del Árbol de Expansión Mínima, específicamente mediante el algoritmo de Prim, con el objetivo de obtener una solución práctica que mejore las condiciones actuales.

### 3.1.3. Nivel descriptivo

La investigación se sitúa en un nivel descriptivo, caracterizando detalladamente la infraestructura de red actual, sus componentes, disposición física, rendimiento y limitaciones. Este nivel permitió documentar y analizar la situación problemática antes de proponer la solución optimizada.

### 3.2. Unidad de análisis

La unidad de análisis está constituida por la infraestructura de red de la Facultad. Esta comprende todos los componentes físicos y lógicos que conforman la red actual, incluyendo nodos, enlaces, equipos activos y pasivos, así como su disposición espacial dentro de las instalaciones de la Facultad.

### 3.3. Población de estudio

La población de estudio abarca la totalidad de elementos que conforman la red de la Facultad de Ciencias Contables de la UNMSM. Esto incluye los puntos de red distribuidos en oficinas administrativas, aulas, laboratorios y demás espacios académicos, así como el personal administrativo y usuarios que interactúan cotidianamente con dicha infraestructura.

### 3.4. Tamaño de muestra

Debido a la naturaleza de la investigación y su enfoque en una red específica, se consideró la totalidad de componentes de la infraestructura de red de la Facultad. No se requiere una muestra parcial, ya que el objetivo fue analizar y optimizar el sistema completo para garantizar la conectividad y eficiencia integral.

### 3.5. Selección de muestra

Al trabajar con la totalidad de la red como objeto de estudio, no se aplicó técnicas de muestreo probabilístico o no probabilístico. Se realizó un censo completo de los componentes de la infraestructura, incluyendo todos los nodos, conexiones y equipamiento existente para asegurar que la solución propuesta contemple todos los elementos del sistema.

### 3.6. Técnicas de recolección de datos

Para el desarrollo de la presente investigación se emplearon técnicas de recolección de datos específicamente seleccionadas para capturar la información necesaria sobre la infraestructura de red existente en la Facultad. Estas técnicas permitieron obtener datos precisos y confiables que constituyen la base del análisis posterior mediante el algoritmo de Prim.

#### 3.6.1. Observación estructurada de la infraestructura actual

La observación estructurada constituyó la técnica fundamental para el reconocimiento y documentación del estado actual de la red en la Facultad. Este proceso se realizó de manera sistemática y planificada, siguiendo un protocolo de observación previamente diseñado que permitió:

- Identificar la ubicación exacta de todos los puntos de conexión existentes en las diferentes áreas académicas y administrativas de la facultad.
- Registrar las rutas específicas que sigue el cableado existente a través de la infraestructura del edificio, identificando recorridos subóptimos o redundantes.
- Detectar las limitaciones arquitectónicas que condicionan el trazado de rutas de cableado, como paredes estructurales, ductos, techos falsos, entre otros elementos.

La observación se realizó mediante visitas programadas a todas las instalaciones de la facultad, utilizando instrumentos de medición precisos y registro fotográfico (como se muestra en las figuras 1, 2, y 3) para documentar las características relevantes. Esto permitió obtener un panorama completo y detallado de la situación actual de la infraestructura de red.

**Figura 1**

*Switch Principal: Caos en el punto de Partida para la Optimización de la Red.*

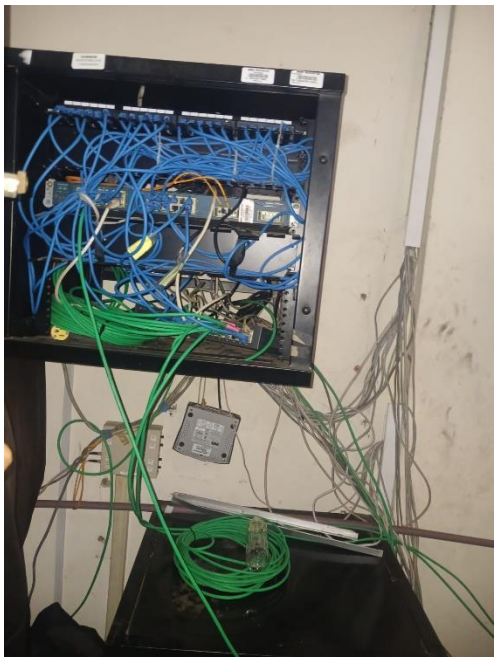


**Figura 2**

*Área Académica: Desorden de cables, impacto en la eficiencia y seguridad.*

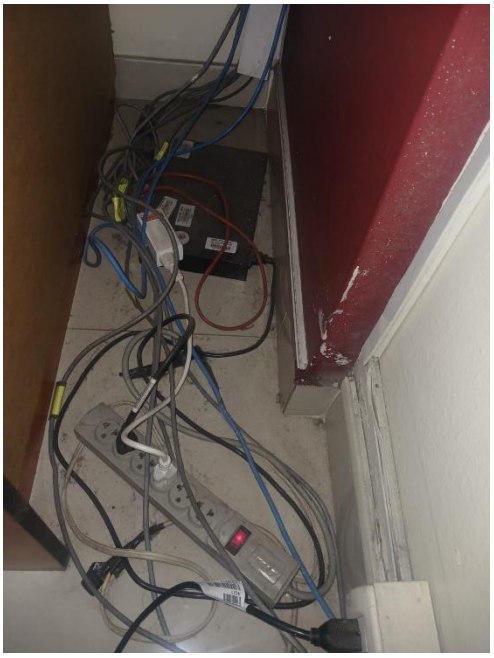


**Figura 3**

*Área Administrativa: Acumulación de cableado obsoleto y en desuso.*



### 3.6.2. Análisis documental de planos y documentación técnica

El análisis documental se aplicó para examinar y extraer información relevante de la documentación técnica disponible sobre la infraestructura del edificio y las instalaciones de red existentes. Esta técnica incluyó:

- Revisión detallada de los planos arquitectónicos del edificio para identificar las características estructurales que condicionan el trazado de la red.
- Revisión los escasos registros técnicos disponibles sobre intervenciones previas en la red, incluyendo órdenes de trabajo, informes de mantenimiento y documentación de

incidencias recurrentes, para comprender las limitaciones y problemáticas históricas que han configurado el estado actual de la infraestructura.

Este análisis permitió complementar la información obtenida mediante la observación directa, proporcionando contexto histórico y especificaciones técnicas que no son directamente observables en la infraestructura física. Además, el proceso de análisis documental comprendió la digitalización integral de los planos físicos existentes de la Facultad, mediante el software Microsoft Visio v.2108. La ausencia de planos digitales actualizados representó una oportunidad para generar un aporte significativo al patrimonio documental técnico de la Facultad. Se realizó un trabajo meticuloso de verificación entre la representación en los planos y la realidad arquitectónica actual, corrigiendo discrepancias y actualizando modificaciones no documentadas en los espacios físicos (documentada en los Anexos 2, 3 y 4). Los planos digitalizados se estructuraron de manera que permitieron superponer la información relacionada con la distribución actual del cableado y posteriormente la propuesta optimizada resultante de la aplicación del algoritmo de Prim.

### 3.6.3. Levantamiento de información sobre puntos de conexión

Esta técnica se orientó específicamente a la identificación y caracterización de todos los puntos de conexión requeridos en la facultad, tanto existentes como potenciales para futuras expansiones (documentada en los Anexos 5, 6, 7 y 8). El proceso incluyó:

- Elaboración de un inventario exhaustivo de todos los puntos de conexión existentes, identificando su ubicación exacta, funcionalidad y estado actual.
- Identificación de áreas que requieren nuevos puntos de conexión, basada en las necesidades académicas y administrativas de la facultad.

- Registro de la densidad de usuarios y dispositivos en cada área, para determinar la cantidad óptima de puntos de conexión requeridos.
- Caracterización de requisitos específicos para cada punto de conexión, considerando el tipo de actividades que se desarrollan en cada espacio.

**Tabla 4**

*Cantidad de nodos por área funcional*

| Área | Ubicación | Cantidad de Nodos |
|---|---|---|
| Administrativa | Oficinas | 146 |
| Académica | Aulas | 37 |
| | Laboratorios | 10 |
| Otros | Pasadizos | 3 |
| | **TOTAL** | **196** |

El levantamiento se realizó mediante un mapeo sistemático de todos los ambientes de la facultad, en coordinación con el personal administrativo y técnico, para garantizar que se consideraran todas las necesidades actuales y proyecciones futuras.

### 3.7. Categorías y subcategorías de análisis

Para sistematizar el proceso analítico de la investigación, se establecieron categorías y subcategorías de análisis que permitieron organizar la información recopilada y orientar el proceso de evaluación de la infraestructura actual y el diseño propuesto. Estas categorías se definieron en

función de los objetivos de la investigación y los aspectos críticos para un diseño óptimo de red.

### 3.7.1. Eficiencia de la red

Se evaluó los aspectos relacionados con la eficiencia estructural y funcional de la red, permitiendo identificar oportunidades de optimización. Se incluyeron las siguientes subcategorías:

- **Topología física:** Se analizó de la configuración espacial de la red, evaluando la adecuación de la disposición actual de nodos y conexiones frente a las necesidades de la facultad.
- **Redundancia de conexiones:** Se identificó conexiones duplicadas o innecesarias que incrementan la longitud total del cableado sin aportar beneficios funcionales.
- **Distribución de nodos principales:** Se evaluó la ubicación estratégica de los nodos centrales en relación con los puntos de conexión final, buscando minimizar la longitud total de cableado.
- **Optimización de rutas:** Se analizaron las trayectorias que sigue el cableado actual, identificando recorridos innecesariamente largos o complejos.

### 3.7.2. Puntos críticos de conexión

Se identificó los nodos esenciales para el funcionamiento de la red, aquellos que por su naturaleza o ubicación resultan determinantes para el diseño global. Se abarcaron las siguientes subcategorías:

- **Centros de distribución principal:** Se reconocieron los nodos que centralizan la conexión de múltiples puntos terminales y requieren consideraciones especiales en el diseño.

- **Puntos de alta demanda:** Se determinó las ubicaciones que concentran una mayor densidad de usuarios o equipos, requiriendo capacidades adicionales.
- **Nodos de interconexión entre pisos:** Se registraron los puntos que permiten la comunicación vertical entre diferentes niveles del edificio.
- **Conexiones a servicios esenciales:** Se distinguieron los nodos que proveen conectividad a servicios críticos para el funcionamiento académico y administrativo.

**Tabla 5**

*Cantidad de nodos centrales (switch) según ubicación*

| Área | Ubicación | Cantidad de Nodos |
|---|---|---|
| Administrativa | Oficinas | 19 |
| Académica | Aulas | 3 |
| | Laboratorios | 1 |
| | **TOTAL** | **22** |

### 3.7.3. Escalabilidad

Se evaluó la capacidad de la infraestructura para adaptarse a futuras expansiones y modificaciones, aspecto crucial para la sostenibilidad a largo plazo. Se consideraron las siguientes subcategorías:

- **Capacidad de expansión:** Se evaluó la facilidad para incorporar nuevos puntos de conexión sin necesidad de rediseñar la estructura principal.
- **Adaptabilidad a nuevas tecnologías:** Se analizó la compatibilidad del diseño propuesto con estándares emergentes y futuros.
- **Flexibilidad ante cambios organizacionales:** Se observó la capacidad de la red para adaptarse a reorganizaciones de espacios o funciones dentro de la facultad.
- **Reserva de capacidad:** Se estudió la incorporación de márgenes adecuados para crecimiento futuro sin comprometer la eficiencia presente.

## 3.8. Procedimientos de análisis e interpretación de la información

La metodología aplicada en esta investigación contempló un proceso sistemático para transformar los datos recopilados en información útil para el diseño optimizado de la red. Los procedimientos de análisis se estructuraron en cuatro etapas secuenciales, que permitió avanzar desde la caracterización de la situación actual hasta la propuesta de diseño optimizado mediante el algoritmo de Prim.

### 3.8.1. Modelado de la red actual como grafo ponderado

El modelado de la infraestructura física como un grafo ponderado constituyó el primer paso analítico fundamental que permitió la aplicación posterior de algoritmos de optimización. Este procedimiento incluyó:

**3.8.1.1. Representación de nodos:** Cada punto de conexión identificado en la etapa de recolección de datos se representó como un nodo en el grafo, asignándole coordenadas espaciales precisas para reflejar su ubicación física real dentro del

edificio (documentada en el Anexo 9).

**3.8.1.2. Establecimiento de aristas potenciales:** Se identificaron todas las posibles conexiones físicamente viables entre los nodos, considerando las restricciones arquitectónicas del edificio. Cada par de nodos que podían conectarse mediante un cable fue vinculado por una arista en el grafo.

**3.8.1.3. Construcción de la matriz de distancia y adyacencia:** La información de conectividad se organizó en una matriz simétrica que representa todas las conexiones potenciales entre los nodos del sistema, facilitando su procesamiento computacional (documentada en el Anexo 10).

**3.8.1.4. Visualización del grafo:** Se generaron representaciones visuales del grafo resultante, superpuestas sobre los planos arquitectónicos, para facilitar la verificación de la correcta modelización.

Este modelado proporcionó una abstracción matemática precisa de la infraestructura física, facilitando la aplicación del algoritmo de optimización.

### 3.8.2. Determinación de pesos para las aristas (distancias físicas)

La asignación de pesos a las aristas del grafo representó un proceso crítico que determinó la precisión y validez del árbol de expansión mínima resultante. Los pesos se establecieron siguiendo estos pasos:

**3.8.2.1. Medición de distancias físicas:** Para cada arista identificada en el grafo, se midió con precisión la longitud real del cable que sería necesario para conectar los nodos

correspondientes, considerando las rutas factibles a través de la infraestructura del edificio.

**3.8.2.2. Validación de mediciones:** Las distancias calculadas fueron verificadas mediante mediciones de control en puntos seleccionados aleatoriamente para garantizar la fiabilidad de los datos.

Esta determinación precisa de los pesos garantiza que el árbol de expansión mínima resultante refleje fielmente las condiciones reales de la infraestructura.

### 3.8.3. Formulación matemática del problema de optimización

Para abordar científicamente el rediseño de la infraestructura de red en la Facultad, es necesario formalizar el problema mediante un modelo matemático riguroso. Esta formulación matemática establece con precisión las variables, parámetros, función objetivo y restricciones que definen el problema, proporcionando así una base formal para la posterior aplicación del Algoritmo de Prim como método de resolución óptima. El modelo presentado a continuación captura la esencia del desafío de minimización de recursos mientras se garantiza la conectividad total entre todos los puntos relevantes de la facultad.

Sean:

$V$ : conjunto de nodos o vértices

$E$ : conjunto de enlaces existentes entre pares de vértices

$D$ : distancia entre pares de vértices

Existe um grafo $G(V,E,D)$ que representa la topología de la red.

Este proyecto mediante el uso de la heurística busca obtener la solución más cercana a la óptima, la que determinará el camino adecuado para la interconexión de todos los nodos elegidos entre sí.

**Definición de variables**

$D_{i,j}$ = distancia del nodo i al nodo j, $\quad i, j = 1, 2, 3, \ldots, 196$

$$x_{i,j} = \begin{cases} 1, & \text{si el enlace del nodo i al nodo j existe y pertenece al árbol} \\ 0, & \text{caso contrario} \end{cases}$$

**Función objetivo**

El objetivo es minimizar la distancia que debe recorrerse de i hasta j.

$i, j = 1, 2, 3, \ldots, 196$

$$\text{Min} \sum_{(i,j) \in E} D_{i,j} \times x_{i,j}$$

**Restricciones**

R2) *Cantidad total de enlaces*; siendo K=196 el número total de nodos del sistema, la cantidad de enlaces E que sean colocados será al menos k-1,

$$\sum_{e_{i,j} \in E} x_{i,j} = 195$$

R3) *Cantidad de enlaces por nodo*; para poder llevar a cabo la optimización propuesta debe existir más de 1 enlace factible de tal manera que permita escoger el que tenga la menor

distancia.

$$\sum_{i,j=1}^{196} x_{i,j} \geq 1; \quad (i,j) \in E$$

R4) *Distancia máxima permitida*; es el límite máximo permitido de nodo a nodo para un correcto flujo de datos.

$$D_{i,j} \leq 100$$

R5) *Variable entera binaria*

$$x_{i,j} = 0, 1$$

### 3.8.4. Aplicación del Algoritmo de Prim

La aplicación del algoritmo de Prim para la determinación del árbol de expansión mínima se realizó siguiendo un procedimiento riguroso que asegura la obtención de la solución óptima. El proceso incluyó:

**3.8.4.1. Selección del nodo inicial:** Se determinó el punto de partida para el algoritmo, seleccionando el nodo correspondiente al centro de distribución principal de la red (nodo 172), desde donde se origina la conectividad.

**3.8.4.2. Utilización del software Grafos:** Para el procesamiento y análisis del problema, se empleó el software especializado Grafos v.1.3.5, que permite el cálculo eficiente de árboles de expansión mínima mediante diversos algoritmos, incluyendo Prim.

**3.8.4.3. Ingreso de datos:** Se construyó y se introdujo en el software la matriz de adyacencia correspondiente al grafo ponderado que representa las distancias entre los diferentes puntos de conexión de la red.

**3.8.4.4. Ejecución del algoritmo:** Se ejecutó el algoritmo de Prim dentro del software, siguiendo el proceso iterativo característico:

- Iniciar con un árbol que contiene solo el nodo inicial (nodo 172)
- En cada iteración, agregar la arista de menor peso que conecta el árbol con un nodo aún no incluido
- Continuar hasta que todos los nodos estén incluidos en el árbol

**3.8.4.5. Verificación de resultados:** Los resultados obtenidos fueron sometidos a verificaciones para confirmar que cumplían con las propiedades fundamentales de un árbol de expansión mínima.

**3.8.4.6. Documentación detallada:** Se documentaron los resultados proporcionados por el software: matriz de distancia y adyacencia, matriz de arcos y árbol de expansión mínima registrando la configuración final del árbol y la distancia total minimizada del cableado.

La aplicación sistemática del algoritmo mediante el software especializado permitió obtener una solución óptima que minimiza la longitud total del cableado necesario para conectar todos los puntos requeridos en la Facultad, logrando así un diseño de red eficiente y económico.

# CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

## 4.1. Análisis y discusión de resultados

### 4.1.1. Diagnóstico de la infraestructura actual

El análisis de la infraestructura de red existente en la Facultad reveló un desarrollo no planificado con conexiones redundantes, rutas ineficientes, cableado obsoleto o en algunos casos en desuso. Además, la ausencia de documentación técnica y el crecimiento empírico han generado una arquitectura vulnerable a fallos y difícil de mantener, constituyendo la base para la aplicación de métodos de optimización mediante teoría de grafos.

Se identificaron 196 puntos de conexión distribuidos en ambientes entre aulas, laboratorios y oficinas administrativas. El diagnóstico evidenció los siguientes problemas críticos:

- Rutas de cableado ineficientes con excesos de longitud
- Ausencia de etiquetado y organización sistemática
- Puntos de concentración con sobrecarga de cables
- Instalaciones expuestas a factores ambientales adversos
- Dificultad para el mantenimiento y detección de fallos

Estos hallazgos confirman la necesidad de un rediseño completo basado en principios de optimización matemática para garantizar la eficiencia y sostenibilidad de la red.

### 4.1.2. Modelado y aplicación del Algoritmo de Prim

Para aplicar el Algoritmo de Prim, se procedió a modelar la infraestructura como un grafo ponderado $G(V,E)$ donde $V$ representa el conjunto de nodos (puntos de conexión necesarios) y $E$ el conjunto de aristas posibles (rutas potenciales de cableado).

Se identificaron un total de 196 nodos, representando switches, puntos de acceso de áreas administrativas y académicas (aulas y laboratorios). Cada arista potencial fue ponderada con la distancia física real necesaria para establecer dicha conexión, considerando las restricciones arquitectónicas del edificio y las rutas factibles para el tendido del cable.

La aplicación del Algoritmo de Prim mediante el software Grafos v1.3.5 permitió obtener el Árbol de Expansión Mínima (MST) óptimo. El algoritmo inició desde el nodo central (nodo 172) y progresivamente incorporó nodos adyacentes siguiendo el criterio de minimización de distancia acumulada.

La Figura 4 presenta el grafo inicial con todas las conexiones posibles, mientras que la Figura 5 muestra el MST resultante. La matriz de distancia y adyacencia resultante (documentada en anexo 11), la matriz de arcos resultante (documentado en anexo 12), el grafo resultante con todas las conexiones (Figuras 6, 7 y 8) y la tabla de distancias resultantes (Figura 9) revelan una reducción del 18,63 % en la longitud total de cable necesario respecto a la configuración actual.

**Figura 4**

*Grafo inicial de la Red: Conexiones del edificio*

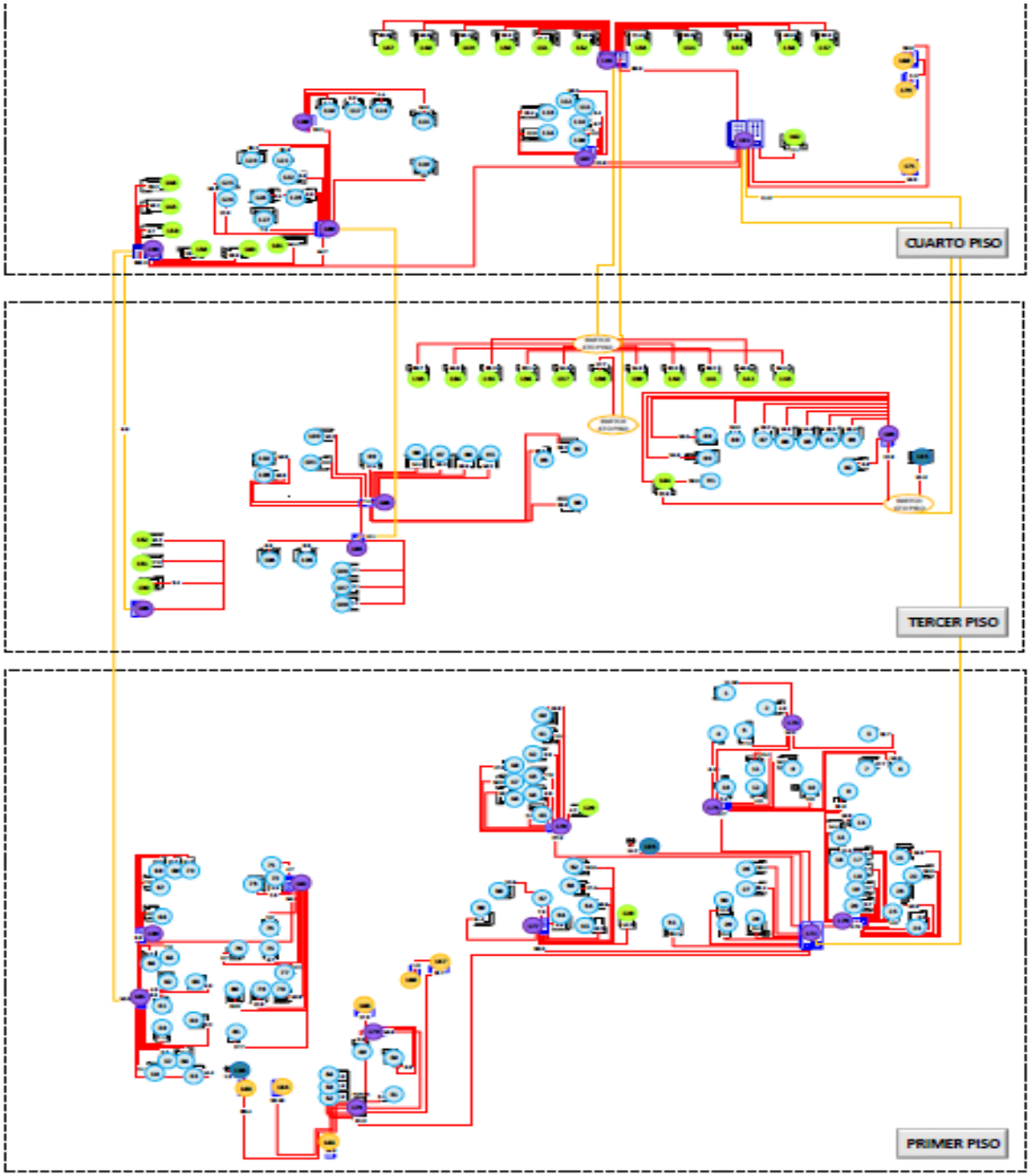


**Figura 5**

*Árbol de expansión mínima: aplicando el Algoritmo de Prim en Software Grafos* v.1.3.5

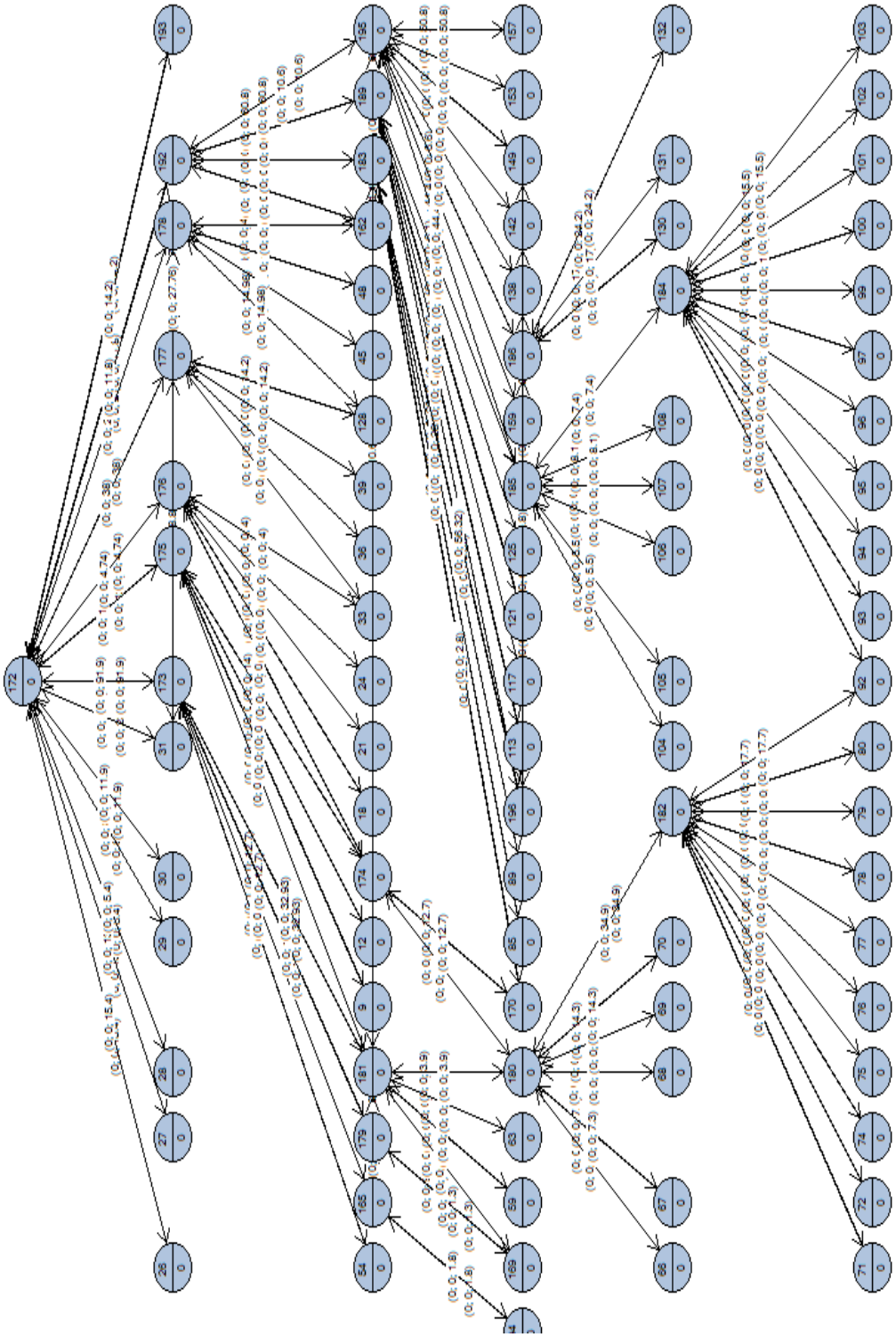


**Figura 6**

*Grafo resultante de la Red: Conexiones - Piso 1*

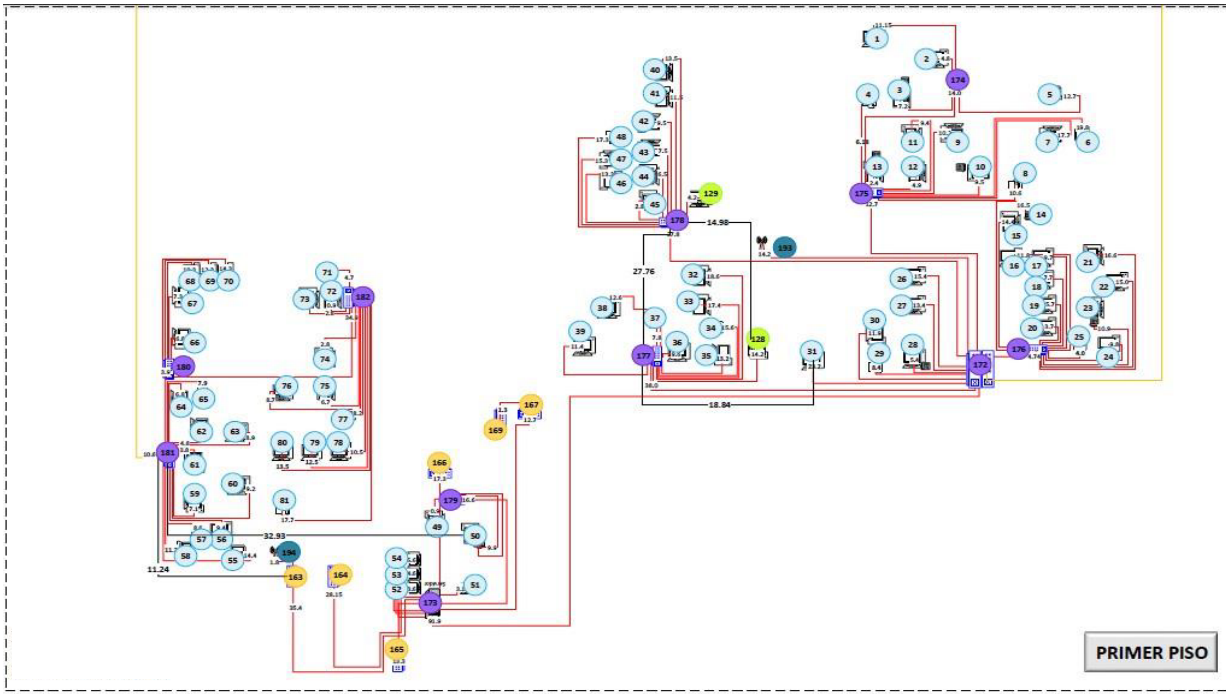



**Figura 7**

*Grafo resultante de la Red: Conexiones - Piso 3*

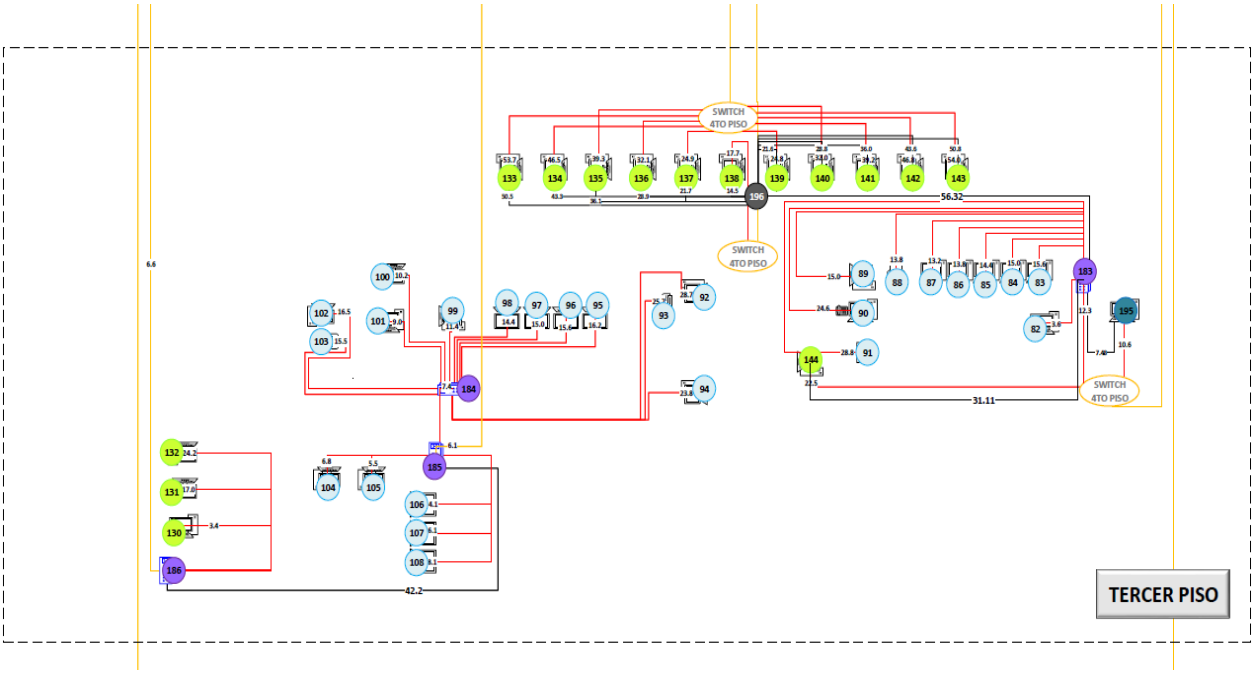


**Figura 8**

*Grafo resultante de la Red: Conexiones - Piso 4*

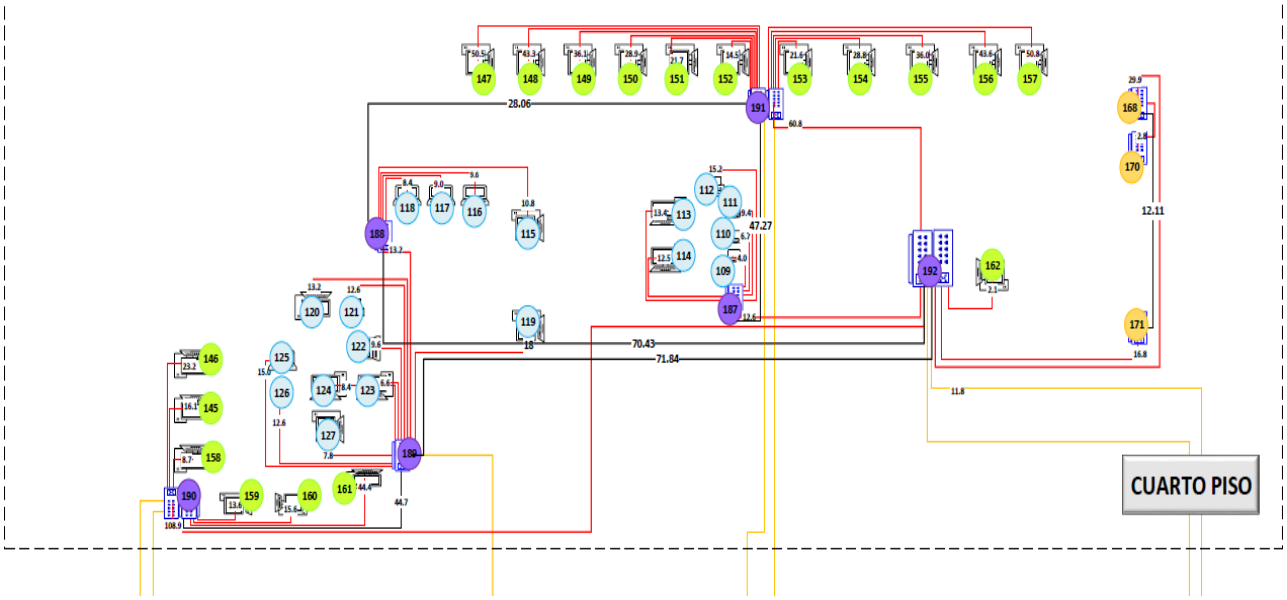


**Figura 9**

*Tabla de distancias: Resultados obtenidos de aplicar el Algoritmo de Prim en Software Grafos* v.1.3.5

| nodo inicial ----(distancia)---> nodo final | nodo inicial ----(distancia)---> nodo final | nodo inicial ----(distancia)---> nodo final |
|---|---|---|
| * 172 ----(15.4)---> 26 | * 61 ----(3.8)---> 181 | * 125 ----(15)---> 189 |
| * 172 ----(13.4)---> 27 | * 62 ----(4.8)---> 181 | * 126 ----(12.6)---> 189 |
| * 172 ----(5.4)---> 28 | * 63 ----(8.9)---> 181 | * 127 ----(7.8)---> 189 |
| * 172 ----(8.4)---> 29 | * 64 ----(6.8)---> 181 | * 128 ----(14.2)---> 177 |
| * 172 ----(11.9)---> 30 | * 65 ----(7.9)---> 181 | * 128 ----(14.98)---> 178 |
| * 172 ----(23.2)---> 31 | * 66 ----(6.8)---> 180 | * 129 ----(4.2)---> 178 |
| * 172 ----(12.7)---> 175 | * 67 ----(7.3)---> 180 | * 130 ----(3.4)---> 186 |
| * 172 ----(4.74)---> 176 | * 68 ----(10.3)---> 180 | * 131 ----(17)---> 186 |
| * 172 ----(11.8)---> 192 | * 69 ----(12.3)---> 180 | * 132 ----(24.2)---> 186 |
| * 172 ----(14.2)---> 193 | * 70 ----(14.3)---> 180 | * 133 ----(50.5)---> 196 |
| * 1 ----(11.15)---> 174 | * 71 ----(4.7)---> 182 | * 134 ----(43.3)---> 196 |
| * 2 ----(4.8)---> 174 | * 72 ----(0.9)---> 182 | * 135 ----(36.1)---> 196 |
| * 3 ----(7.2)---> 174 | * 73 ----(2.8)---> 182 | * 136 ----(28.9)---> 196 |
| * 4 ----(6.18)---> 175 | * 74 ----(2.8)---> 182 | * 137 ----(21.7)---> 196 |
| * 5 ----(12.7)---> 174 | * 75 ----(6.7)---> 182 | * 138 ----(17.7)---> 191 |
| * 6 ----(19.8)---> 175 | * 76 ----(8.7)---> 182 | * 138 ----(14.5)---> 196 |
| * 7 ----(17.7)---> 175 | * 77 ----(8.2)---> 182 | * 139 ----(21.6)---> 196 |
| * 8 ----(10.6)---> 175 | * 78 ----(10.5)---> 182 | * 140 ----(28.8)---> 196 |
| * 9 ----(10.2)---> 175 | * 79 ----(12.5)---> 182 | * 141 ----(36)---> 196 |
| * 10 ----(9.5)---> 175 | * 80 ----(13.5)---> 182 | * 142 ----(43.6)---> 196 |
| * 11 ----(9.4)---> 175 | * 81 ----(17.7)---> 182 | * 143 ----(50.8)---> 196 |
| * 12 ----(4.9)---> 175 | * 82 ----(3.6)---> 183 | * 144 ----(22.5)---> 192 |
| * 13 ----(2.4)---> 175 | * 83 ----(15.6)---> 183 | * 145 ----(16.1)---> 190 |
| * 14 ----(16.5)---> 176 | * 84 ----(15)---> 183 | * 146 ----(23.2)---> 190 |
| * 15 ----(14.4)---> 176 | * 85 ----(14.4)---> 183 | * 147 ----(50.5)---> 191 |
| * 16 ----(11.8)---> 176 | * 86 ----(13.8)---> 183 | * 148 ----(43.3)---> 191 |
| * 17 ----(9.7)---> 176 | * 87 ----(13.2)---> 183 | * 149 ----(36.1)---> 191 |
| * 18 ----(7.7)---> 176 | * 88 ----(13.8)---> 183 | * 150 ----(28.9)---> 191 |
| * 19 ----(5.7)---> 176 | * 89 ----(15)---> 183 | * 151 ----(21.7)---> 191 |
| * 20 ----(3.7)---> 176 | * 90 ----(24.6)---> 183 | * 152 ----(14.5)---> 191 |
| * 21 ----(16.6)---> 176 | * 91 ----(28.8)---> 183 | * 153 ----(21.6)---> 191 |
| * 22 ----(15)---> 176 | * 92 ----(28.7)---> 184 | * 154 ----(28.8)---> 191 |
| * 23 ----(10.9)---> 176 | * 93 ----(25.7)---> 184 | * 155 ----(36)---> 191 |
| * 24 ----(9.8)---> 176 | * 94 ----(23.8)---> 184 | * 156 ----(43.6)---> 191 |
| * 25 ----(4)---> 176 | * 95 ----(16.2)---> 184 | * 157 ----(50.8)---> 191 |
| * 31 ----(18.84)---> 177 | * 96 ----(15.6)---> 184 | * 158 ----(8.7)---> 190 |
| * 32 ----(18.6)---> 177 | * 97 ----(15)---> 184 | * 159 ----(13.6)---> 190 |
| * 33 ----(17.4)---> 177 | * 98 ----(14.4)---> 184 | * 160 ----(15.6)---> 190 |
| * 34 ----(15.6)---> 177 | * 99 ----(11.4)---> 184 | * 161 ----(1.93)---> 189 |
| * 35 ----(13.2)---> 177 | * 100 ----(10.2)---> 184 | * 162 ----(2.1)---> 192 |
| * 36 ----(9.6)---> 177 | * 101 ----(9)---> 184 | * 163 ----(11.24)---> 181 |
| * 37 ----(7.8)---> 177 | * 102 ----(16.5)---> 184 | * 163 ----(1.8)---> 194 |
| * 38 ----(12.6)---> 177 | * 103 ----(15.5)---> 184 | * 164 ----(28.15)---> 173 |
| * 39 ----(11.4)---> 177 | * 104 ----(6.8)---> 185 | * 164 ----(19.64)---> 181 |
| * 40 ----(13.5)---> 178 | * 105 ----(5.5)---> 185 | * 165 ----(13.3)---> 173 |
| * 41 ----(11.5)---> 178 | * 106 ----(4.1)---> 185 | * 166 ----(17.3)---> 173 |
| * 42 ----(9.5)---> 178 | * 107 ----(6.1)---> 185 | * 167 ----(1.3)---> 169 |
| * 43 ----(7.5)---> 178 | * 108 ----(8.1)---> 185 | * 167 ----(12.7)---> 173 |
| * 44 ----(6.5)---> 178 | * 109 ----(4)---> 187 | * 168 ----(2.8)---> 170 |
| * 45 ----(2.8)---> 178 | * 110 ----(6.7)---> 187 | * 168 ----(12.11)---> 171 |
| * 46 ----(13.3)---> 178 | * 111 ----(9.4)---> 187 | * 171 ----(16.8)---> 192 |
| * 47 ----(15.3)---> 178 | * 112 ----(15.2)---> 187 | * 173 ----(16.6)---> 179 |
| * 48 ----(17.3)---> 178 | * 113 ----(13.4)---> 187 | * 174 ----(14)---> 175 |
| * 49 ----(0.3)---> 179 | * 114 ----(12.5)---> 187 | * 180 ----(3.9)---> 181 |
| * 50 ----(9.9)---> 179 | * 115 ----(10.8)---> 188 | * 180 ----(34.9)---> 182 |
| * 51 ----(3.1)---> 173 | * 116 ----(9.6)---> 188 | * 181 ----(10.6)---> 190 |
| * 52 ----(3.6)---> 173 | * 117 ----(9)---> 188 | * 183 ----(7.48)---> 195 |
| * 53 ----(4.6)---> 173 | * 118 ----(8.4)---> 188 | * 184 ----(7.4)---> 185 |
| * 54 ----(5.6)---> 173 | * 119 ----(18)---> 189 | * 185 ----(42.2)---> 186 |
| * 55 ----(14.4)---> 181 | * 120 ----(8.82)---> 188 | * 185 ----(6.1)---> 189 |
| * 56 ----(9.4)---> 181 | * 121 ----(7.58)---> 188 | * 186 ----(6.6)---> 190 |
| * 57 ----(8.6)---> 181 | * 121 ----(12.6)---> 189 | * 187 ----(47.27)---> 191 |
| * 58 ----(11.2)---> 181 | * 122 ----(9.6)---> 189 | * 187 ----(12.6)---> 192 |
| * 59 ----(7.1)---> 181 | * 123 ----(6.6)---> 189 | * 188 ----(28.06)---> 191 |
| * 60 ----(9.2)---> 181 | * 124 ----(8.4)---> 189 | * 192 ----(10.6)---> 195 |

### 4.1.3. Diseño optimizado y análisis costo-beneficio

El diseño resultante presenta una topología estructuralmente eficiente que garantiza conectividad total con mínimo consumo de recursos. Aunque la inversión actual en cableado carece de registro formal por su implementación empírica, una sustitución integral de cableado con la propuesta optimizada del Algoritmo de Prim no solo representaría beneficios económicos sino también mejoras significativas en escalabilidad y administración de la red.

## 4.2. Validación de resultados

La implementación del Algoritmo de Prim demuestra resultados consistentes con los fundamentos teóricos de optimización. La reducción del 18.63% en cableado se alinea con investigaciones previas que reportan optimizaciones similares. Los beneficios cualitativos en términos de mantenibilidad y escalabilidad confirman la efectividad del enfoque propuesto y su aplicabilidad específica al caso de estudio.

# CONCLUSIONES

La aplicación del Algoritmo de Prim para la optimización de la infraestructura de red en la Facultad ha permitido diseñar una red eficiente, logrando una significativa reducción del 18.63% en la longitud total del cableado requerido, mientras se mantiene la conectividad total y se mejora la sostenibilidad de la infraestructura tecnológica.

El análisis cualitativo de la red existente evidenció un desarrollo empírico sin documentación técnica adecuada, con rutas redundantes e ineficientes que impactan negativamente en las actividades académicas y administrativas, confirmando la necesidad de un rediseño fundamentado en principios matemáticos para superar estas limitaciones estructurales.

La representación de la infraestructura física como un grafo ponderado demostró ser metodológicamente apropiada, permitiendo traducir con precisión las características físicas y requerimientos de la Facultad a un modelo matemático susceptible de optimización mediante el Algoritmo de Prim.

La implementación del algoritmo generó un Árbol de Expansión Mínima que determina las conexiones óptimas para la infraestructura, respetando las restricciones físicas del entorno mientras minimiza la cantidad de cable utilizado y evita exceder límites de distancia para garantizar una óptima transmisión de datos.

El diseño optimizado, al presentar una reducción del 18.63% en cableado, establece una relación directa con la reducción de costos de implementación, haciendo la propuesta económicamente viable para la Facultad. Adicionalmente, la ordenación lógica del cableado facilitará las labores de mantenimiento y permitirá que las actividades administrativas y académicas se desarrollen de manera fluida sin inconvenientes técnicos recurrentes.

# RECOMENDACIONES

Se recomienda a las autoridades de la Facultad considerar la implementación del diseño propuesto, dado que representa una inversión eficiente que utilizará exactamente los recursos necesarios, evitando gastos excesivos mientras se garantiza una infraestructura de red robusta y sostenible.

Establecer un sistema riguroso de documentación para la nueva infraestructura, incluyendo planos detallados, etiquetado sistemático de cables y puntos de conexión, y matriz de adyacencia resultante, superando así una de las principales deficiencias identificadas en la red actual.

Proporcionar formación específica al personal encargado del mantenimiento de la red sobre los fundamentos del diseño basado en MST y la importancia de mantener la configuración optimizada para preservar los beneficios de eficiencia y sostenibilidad.

Replicar la metodología desarrollada en este estudio en otras facultades de la UNMSM con problemáticas similares de infraestructura de red, adaptando el modelo matemático a sus características específicas para promover la eficiencia tecnológica en toda la institución.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS


Cisneros Murillo, J. F., & Ledesma Mera, D. C. (2023). *Propuesta de una estrategia de diseño de red de campus empresarial considerando la disponibilidad, integridad y confidencialidad de la empresa empacadora de camarones.* [Tesis de Maestría, Universidad Politécnica Salesiana]

Coasaca Huancollo, M. (2022). *Implementación de un sistema de cableado estructurado vertical y horizontal bajo los estándares ANSI/TIA/EIA–56813, para la gestión de la información en la Gerencia de Administración Tributaria de la Municipalidad Provincial de San Román*. [Tesis de licenciatura, Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez]. Repositorio UANCV https://repositorio.uancv.edu.pe/items/f06becc2-98e6-499b-9ace-495f87a7054d

Cormen, T. H., Leiserson, C. E., Rivest, R. L., & Stein, C. (2022). *Introduction to algorithms* (4th ed.). The MIT Press.

Delgado Aguilar, C. (2021). *Análisis y simulación de redes inalámbricas de próxima generación, mediante teoría de redes complejas* [Trabajo Fin de Grado, Universidad Politécnica de Madrid]. Archivo digital UPM https://oa.upm.es/70515/

Morales Cañizares, R. N., & Quiña Pallasco, A. B. (2020). *Diseño de la red FTTH del barrio La León sector Chilibulo para la empresa Arteksolution Cía. Ltda.* [Trabajo Fin de Grado, Universidad Politécnica Salesiana] Repositorio UPS http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/18232

Onofre Muñoz, P. A. (2020). *Dimensionamiento óptimo de generación distribuida en redes de distribución basado en la teoría de grafos* [Tesis de Grado. Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio UPS https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/18357

Pimentel Retuerto, C. A. (2021). *Uso de Internet en el Rendimiento Académico de los Estudiantes del I Ciclo de la Escuela Profesional de Sociología de la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión – Huacho–2018–I*. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión] http://hdl.handle.net/20.500.14067/5426

Rivera, E. A., Figueroa, D. A., & Díaz, F. J. (2024). Nuevos estándares en el cableado estructurado: Artículo Científico. *ReTEC–Revista Electrónica de Tecnología, Educación y Ciencia*, *1*(2), 72–83. https://retec.unsa.edu.ar/ojs/index.php/retec/article/view/19

Santana Garay, I. (2020). *Diseño de una red de datos y la calidad de servicio en la Red de Salud de Chupaca*. Universidad Peruana Los Andes https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UPLA_69b02a87736eabda84651dab9effba17

Tipán Chinchero, C. A. (2024). *Desarrollo de una herramienta computacional para la determinación de la ubicación óptima de transformadores de distribución aplicando clustering y árbol de expansión mínima* [Tesis de maestría, Escuela Politécnica Nacional].

Velasquez Escorcia, P. T., & Reyes Salgado, R. M. (2023). *Teoría de grafos y sus aplicaciones en modelos de rutas óptimas*.[Tesis de Licenciatura en Matemática, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua]. http://riul.unanleon.edu.ni:8080/jspui/handle/123456789/9721

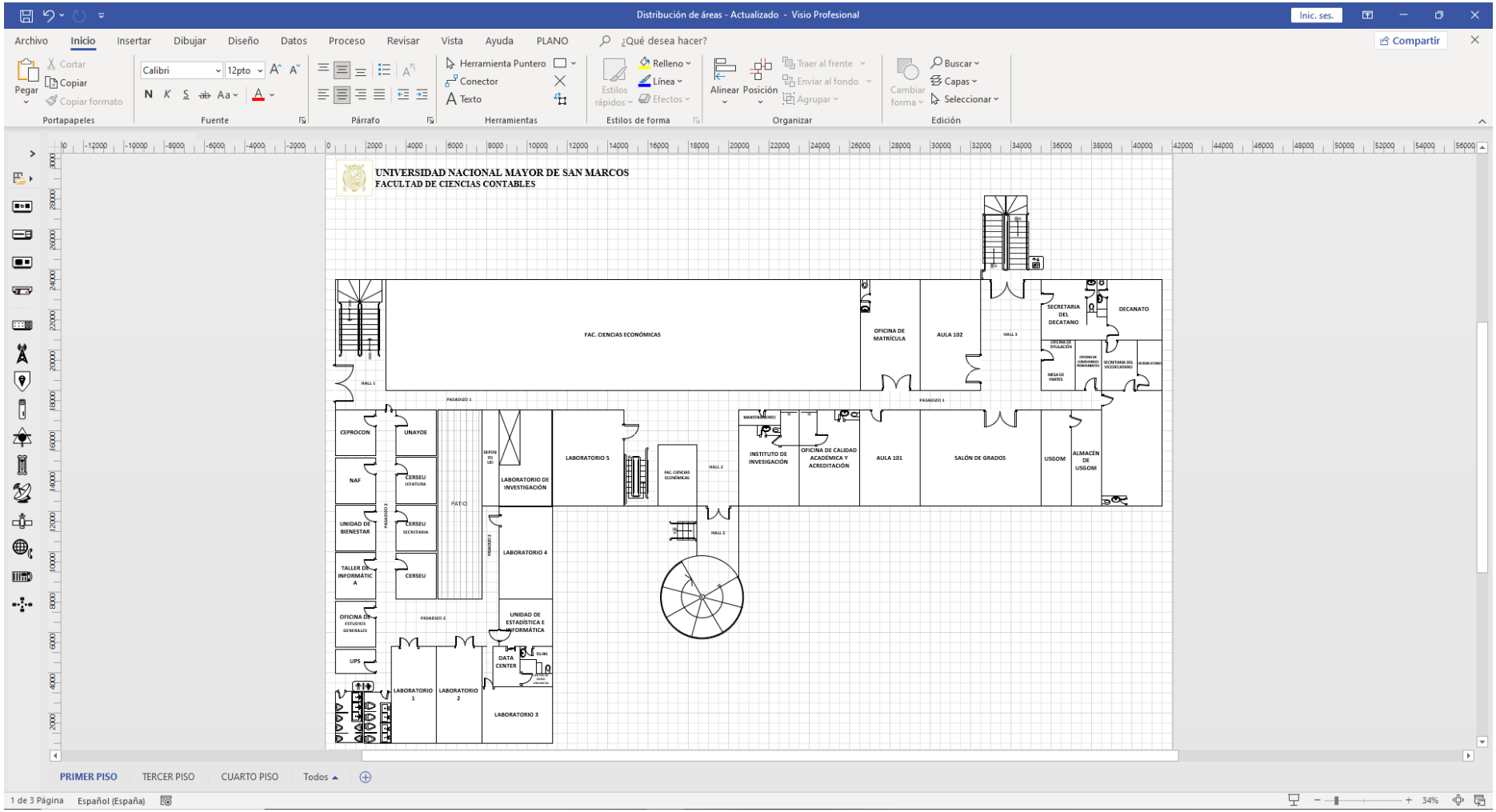
West, D. B. (2000). *Introduction to graph theory* (2nd ed.). Pearson College Div.

# ANEXOS

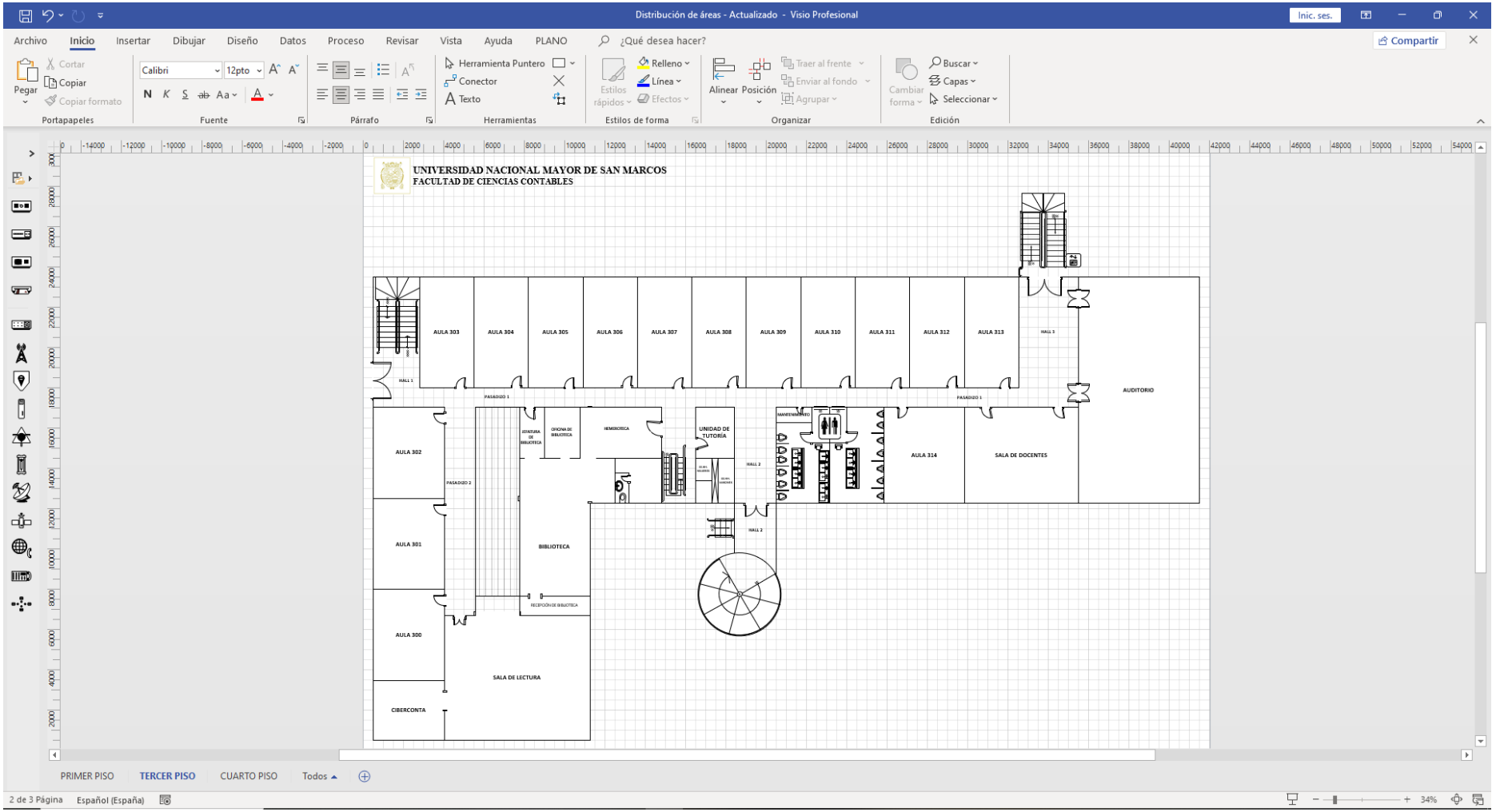
## Anexo 1: Matriz de consistencia

| PROBLEMA DE INVESTIGACION | OBJETIVO DE INVESTIGACION | VARIABLES | METODOLOGÍA | TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN |
|---|---|---|---|---|
| **PROBLEMA GENERAL**<br>¿Cómo el diseño de una infraestructura de red mediante Árboles de Expansión Mínima permitiría optimizar la eficiencia, reducir costos y mejorar la sostenibilidad en la Facultad de Ciencias Contables de la UNMSM? | **OBJETIVO GENERAL**<br>Diseñar una infraestructura de red eficiente para la Facultad de Ciencias Contables mediante Árbol de expansión mínima para alcanzar la reducción de costos y mayor sostenibilidad. | **DEPENDIENTE**<br>Eficiencia en el diseño de redes.<br>Indicadores:<br>- Metros de cable utilizado.<br>- Número de puntos de conexión | **Enfoque:**<br>Cualitativo<br><br>**Diseño:**<br>No experimental<br><br>**Finalidad:**<br>Investigación Aplicada<br><br>**Nivel:**<br>Descriptivo<br><br>**Unidad de análisis:**<br>Infraestructura de red de la Facultad | Observación estructurada<br>Análisis documental<br>Mapeo de puntos de conexión |
| **PROBLEMAS ESPECÍFICOS**<br><br>PE1: ¿Cuál es el estado actual, viabilidad y limitaciones de la infraestructura de red de la Facultad de Ciencias Contables de la UNMSM según un análisis cualitativo?<br>PE2: ¿De qué manera se puede representar la infraestructura de red de la Facultad de Ciencias Contables como un grafo ponderado que refleje adecuadamente sus características y requerimientos?<br>PE3: ¿Cómo puede el Algoritmo de Prim determinar las conexiones óptimas para la infraestructura de red de la Facultad de Ciencias Contables?<br>PE4: ¿Cuál es el impacto práctico (costos, sostenibilidad, viabilidad y escalabilidad) al implementar el diseño de red mediante Árboles de Expansión Mínima en la Facultad de Ciencias Contables? | **OBJETIVO ESPECÍFICOS**<br><br>OE1: Diagnosticar la viabilidad y posibles limitaciones de la red actual mediante un análisis cualitativo<br>OE2: Modelar la infraestructura de red como un grafo ponderado<br>OE3: Aplicar el Algoritmo de Prim para determinar las conexiones óptimas<br>OE4: Evaluar el impacto práctico (costos, sostenibilidad, viabilidad, escalabilidad) de implementar el diseño de red MST. | **INDEPENDIENTE**<br>Aplicación del algoritmo de Prim para árboles de expansión mínima.<br>Indicadores:<br>- Etapas de aplicación del algoritmo.<br>- Criterios de selección de nodos.<br>- Matriz de adyacencia resultante. | | |

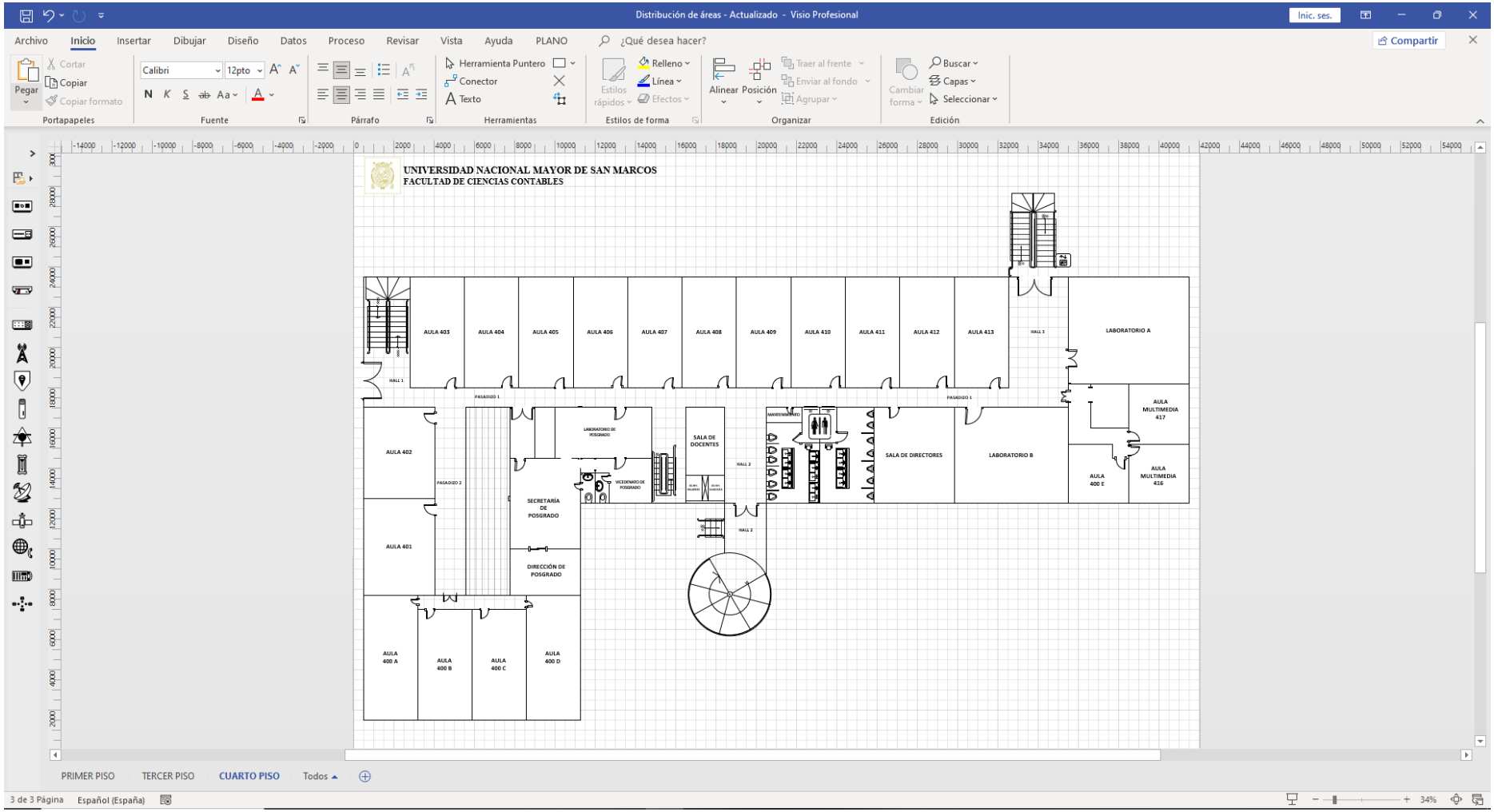
## Anexo 2: Distribución actualizada de áreas– PISO 1



## Anexo 3: Distribución actualizada de áreas – PISO 3



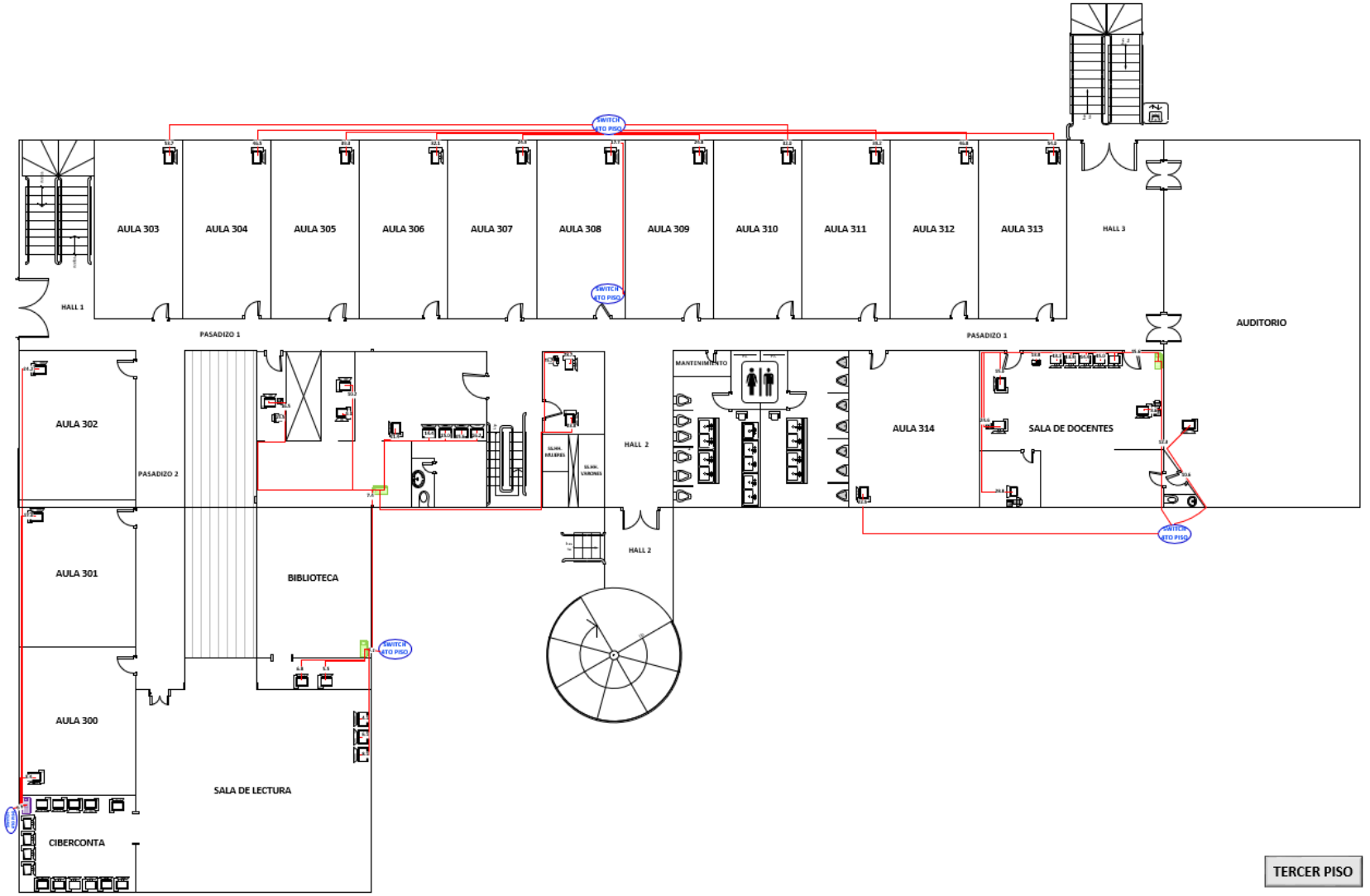
## Anexo 4: Distribución actualizada de áreas – PISO 4



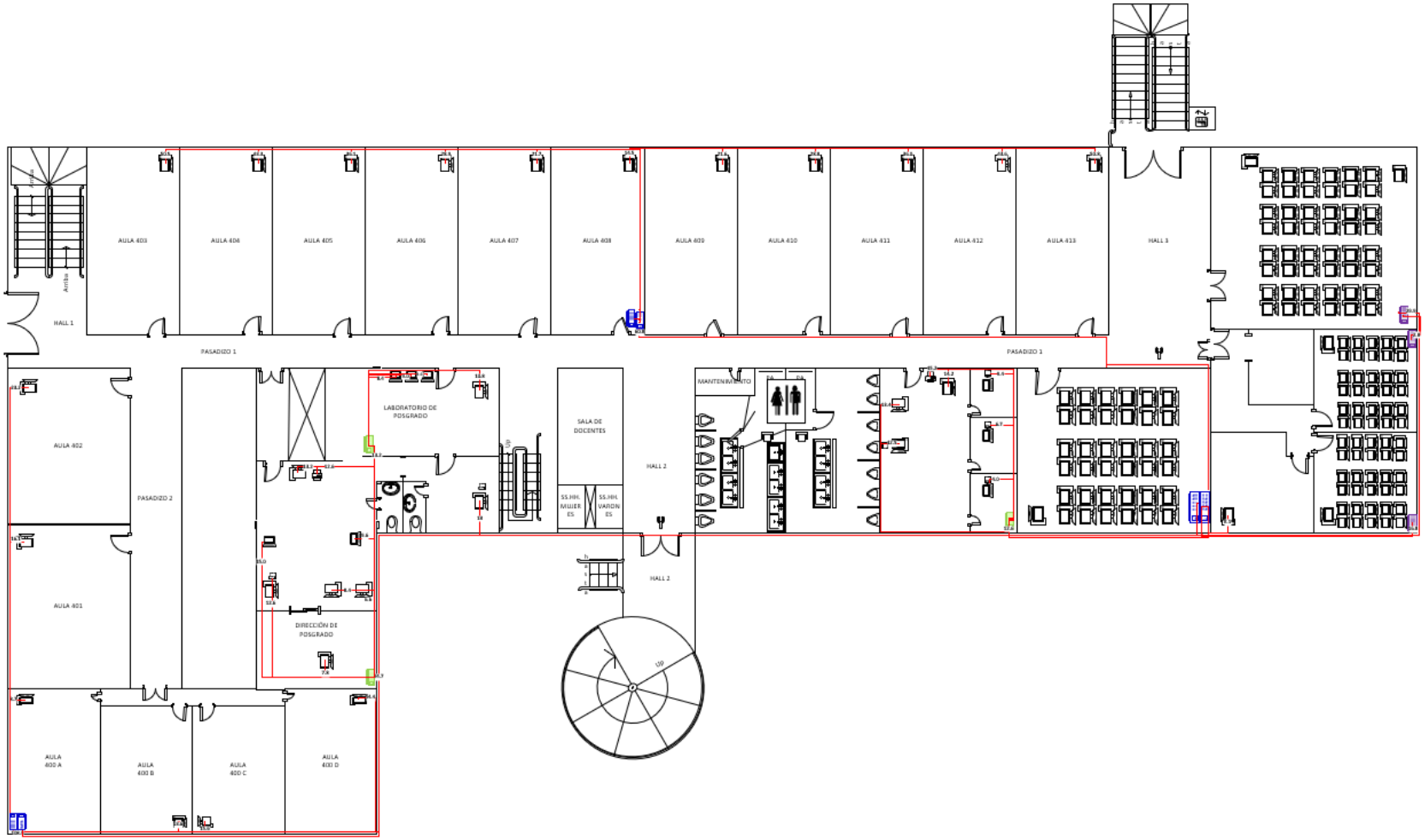
## Anexo 5: Distribución actual de los puntos de conexión – PISO 1



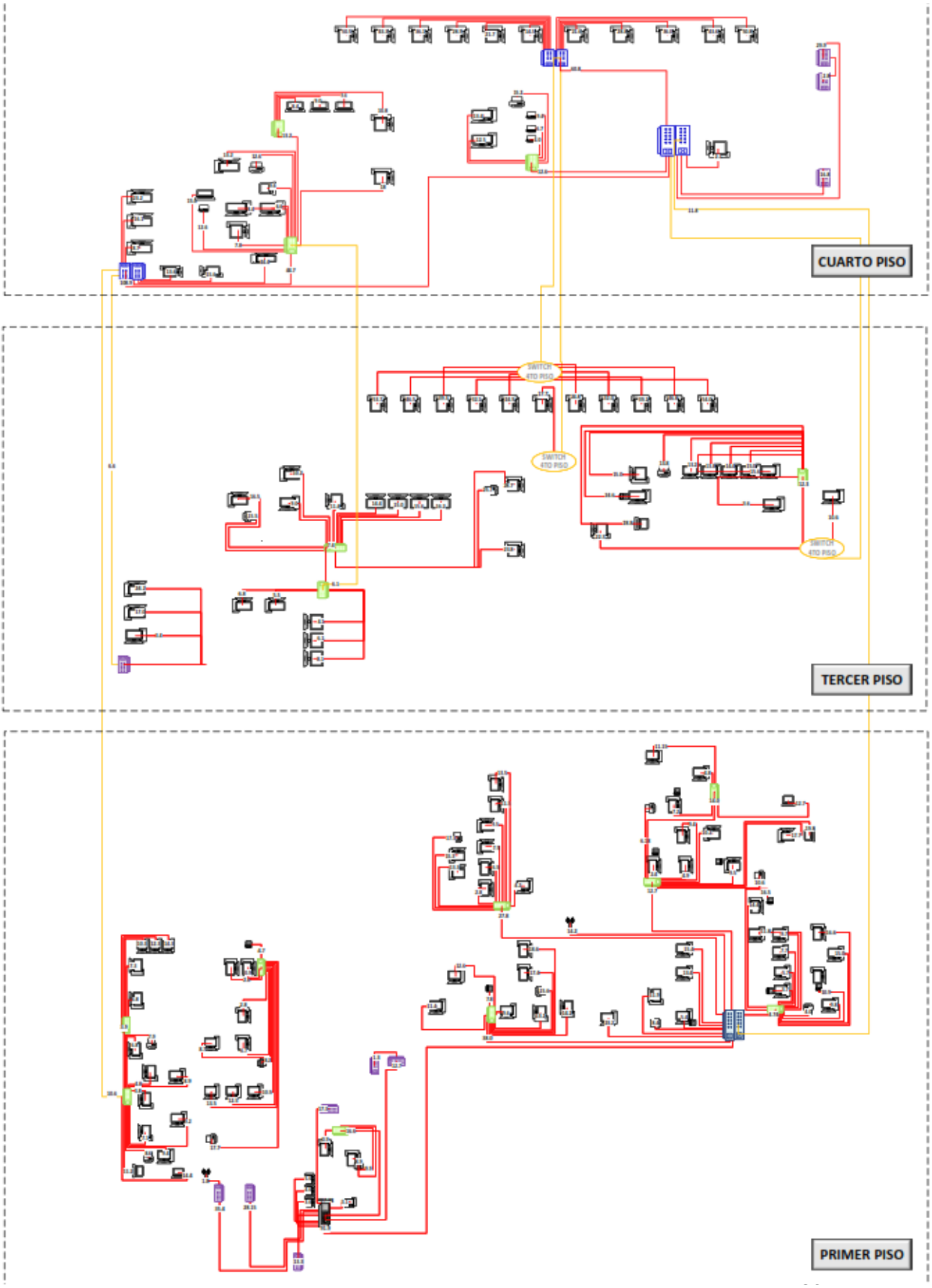
**Anexo 6: Distribución actual de los puntos de conexión – PISO 3**



**Anexo 7: Distribución actual de los puntos de conexión – PISO 4**



**Anexo 8: Diseño y distribución actual de los puntos de conexión del edificio**

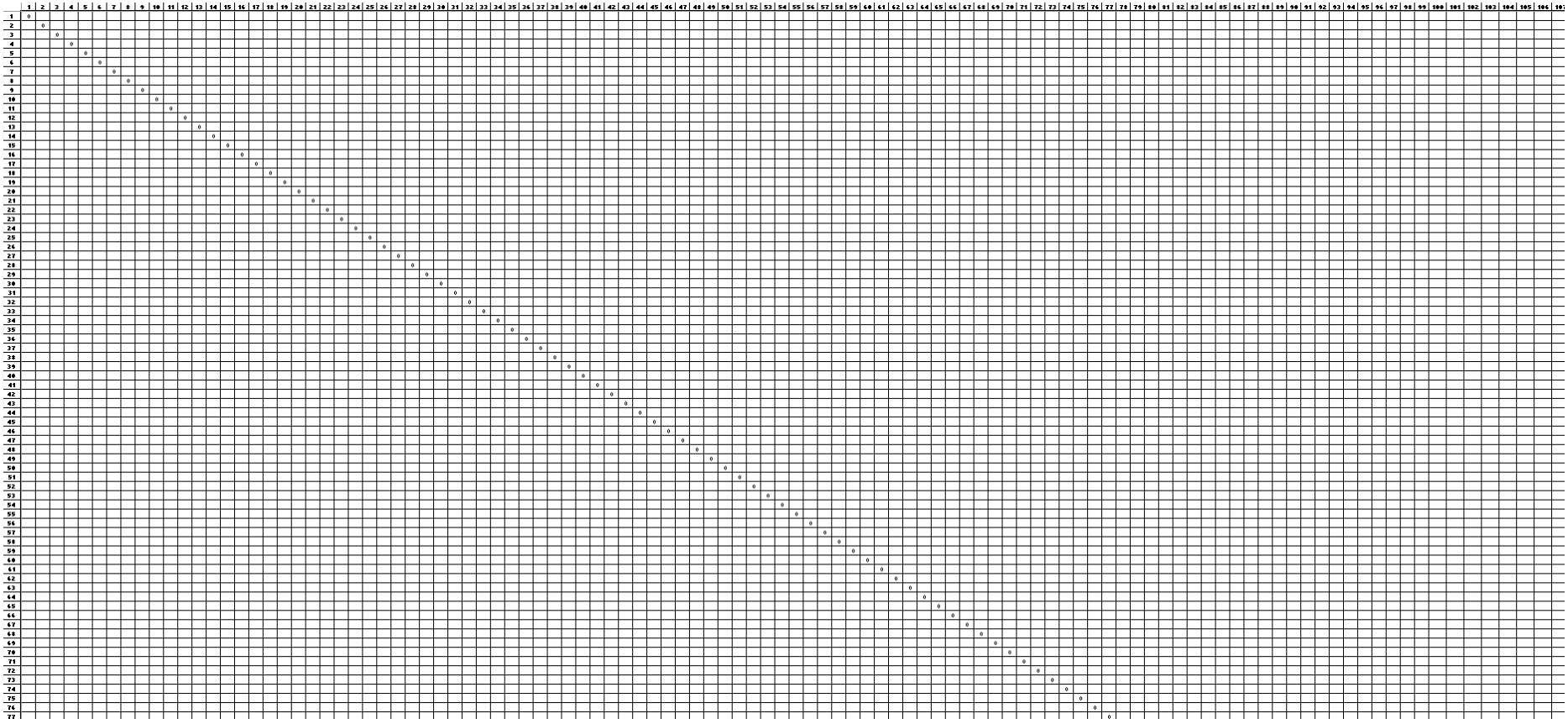


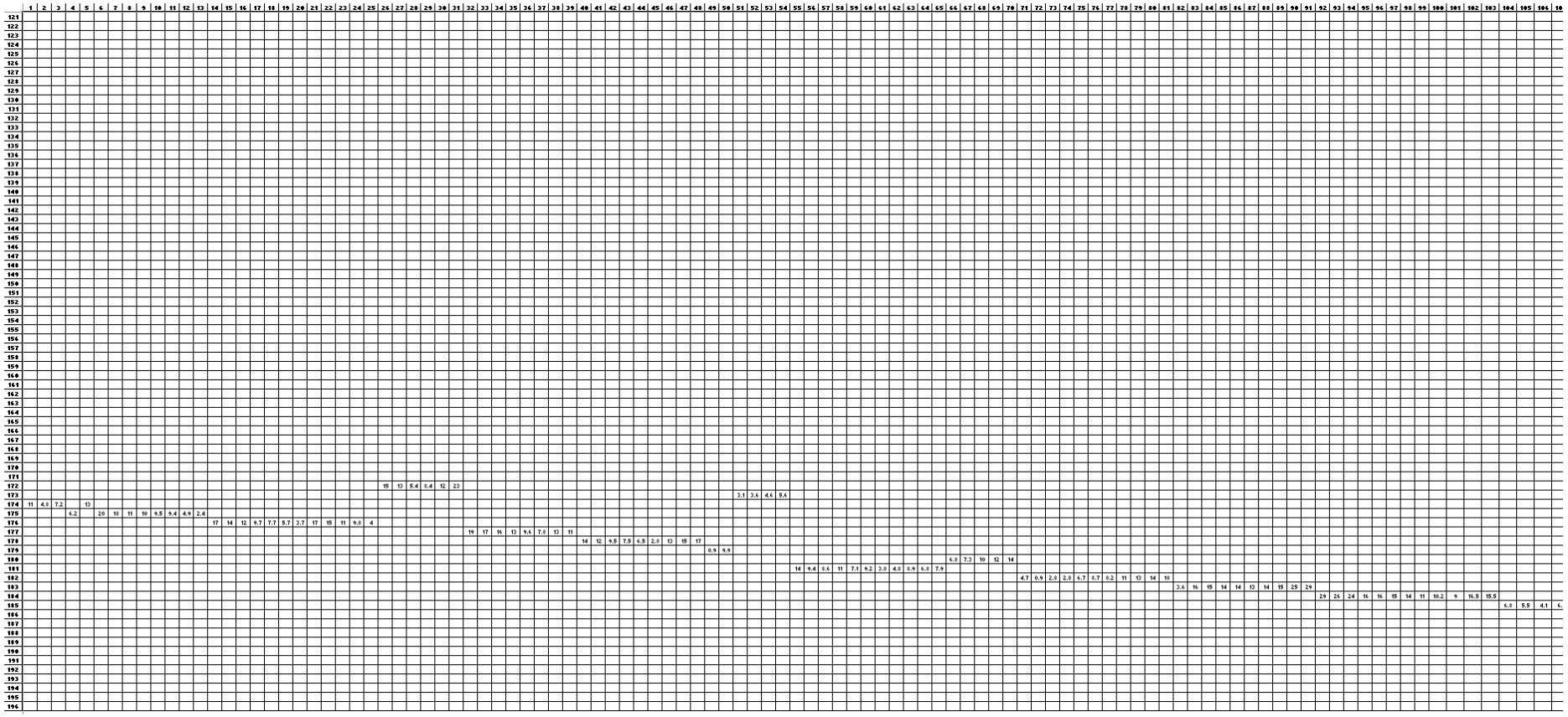
## Anexo 9: Tabla de relación de nodos según área

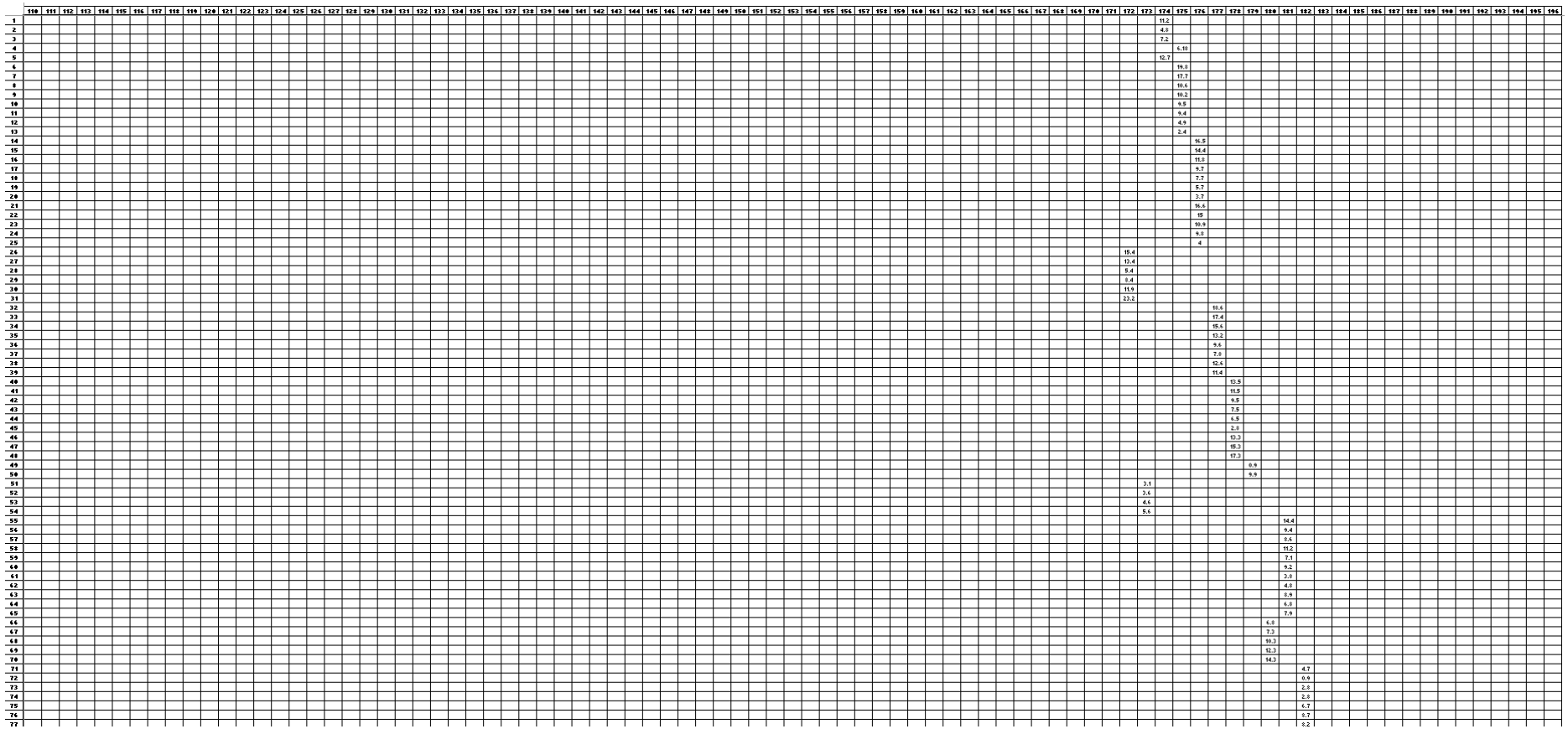
| Área | Nodo | Ubicación | Área | Nodo | Ubicación | Área | Nodo | Ubicación |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | Decanato | | 67 | Ceprocon | | 133 | Aula 303 |
| | 2 | Decanato | | 68 | Ceprocon | | 134 | Aula 304 |
| | 3 | Decanato | | 69 | Ceprocon | | 135 | Aula 305 |
| | 4 | Decanato | | 70 | Ceprocon | | 136 | Aula 306 |
| | 5 | Decanato | | 71 | Unayoe | | 137 | Aula 307 |
| | 6 | Vicedecanato | | 72 | Unayoe | | 138 | Aula 308 |
| | 7 | Vicedecanato | | 73 | Unayoe | | 139 | Aula 309 |
| | 8 | Vicedecanato | | 74 | Cerseu (jefatura) | | 140 | Aula 310 |
| | 9 | Comisiones permanentes | | 75 | Cerseu (jefatura) | | 141 | Aula 311 |
| | 10 | Comisiones permanentes | | 76 | Cerseu (jefatura) | | 142 | Aula 312 |
| | 11 | Titulación | | 77 | Cerseu | | 143 | Aula 313 |
| | 12 | Mesa de partes | | 78 | Cerseu | | 144 | Aula 314 |
| | 13 | Mesa de partes | | 79 | Cerseu | | 145 | Aula 401 |
| | 14 | Dir. Administrativa | | 80 | Cerseu | | 146 | Aula 402 |
| | 15 | Dir. Administrativa | | 81 | Cerseu | | 147 | Aula 403 |
| | 16 | Dir. Administrativa | | 82 | Sala de docentes | Acad. | 148 | Aula 404 |
| Adm. | 17 | Dir. Administrativa | Adm. | 83 | Sala de docentes | | 149 | Aula 405 |
| | 18 | Dir. Administrativa | | 84 | Sala de docentes | | 150 | Aula 406 |
| | 19 | Dir. Administrativa | | 85 | Sala de docentes | | 151 | Aula 407 |
| | 20 | Dir. Administrativa | | 86 | Sala de docentes | | 152 | Aula 408 |
| | 21 | Dir. Administrativa | | 87 | Sala de docentes | | 153 | Aula 409 |
| | 22 | Dir. Administrativa | | 88 | Sala de docentes | | 154 | Aula 410 |
| | 23 | Dir. Administrativa | | 89 | Dpto. Académico | | 155 | Aula 411 |
| | 24 | Dir. Administrativa | | 90 | Dpto. Académico | | 156 | Aula 412 |
| | 25 | Dir. Administrativa | | 91 | Dpto. Académico | | 157 | Aula 413 |
| | 26 | Usgom | | 92 | Tutoría | | 158 | Aula 400 A |
| | 27 | Usgom | | 93 | Tutoría | | 159 | Aula 400 B |
| | 28 | Usgom | | 94 | Tutoría | | 160 | Aula 400 C |
| | 29 | Usgom | | 95 | Hemeroteca | | 161 | Aula 400 D |
| | 30 | Usgom | | 96 | Hemeroteca | | 162 | Aula 416 |
| | 31 | Salón de grados | | 97 | Hemeroteca | Lab. | 163 | Laboratorio 1 |
| | 32 | Ocaa | | 98 | Hemeroteca | | 164 | Laboratorio 2 |
| Adm. | 33 | Ocaa | Adm. | 99 | Hemeroteca | Lab. | 165 | Laboratorio 3 |

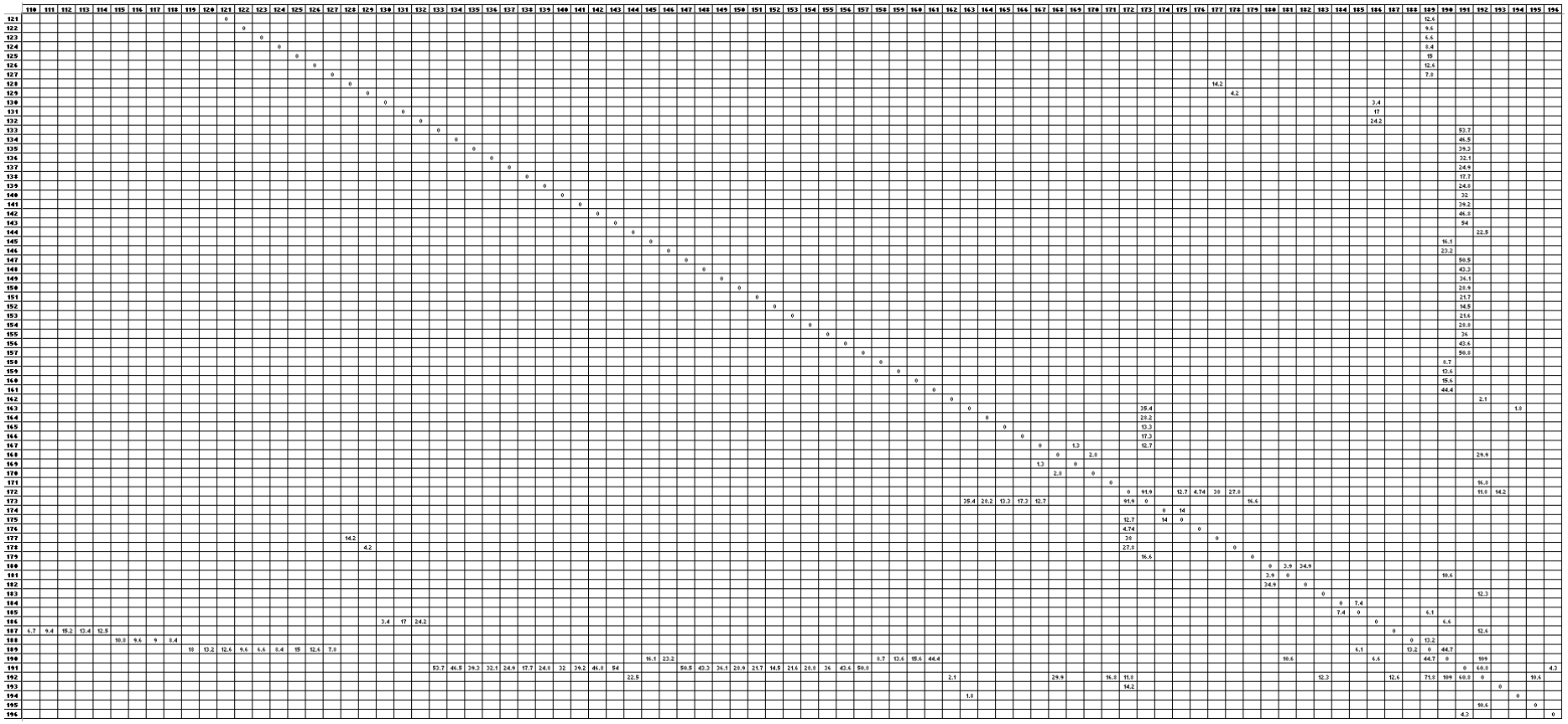
| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 34 | Ocaa | | 100 | Biblioteca | | 166 | Laboratorio 4 |
| | 35 | Ocaa | | 101 | Biblioteca | | 167 | Laboratorio 5 |
| | 36 | Ocaa | | 102 | Biblioteca (jefatura) | | 168 | Laboratorio A |
| | 37 | Investigación | | 103 | Biblioteca (jefatura) | | 169 | Laboratorio de Investigación |
| | 38 | Investigación | | 104 | Biblioteca (recepción) | | 170 | Laboratorio Posgrado 417 |
| | 39 | Investigación | | 105 | Biblioteca (recepción) | | 171 | Laboratorio Posgrado 418 |
| | 40 | Matrícula | | 106 | Biblioteca | | 172 | Switch principal |
| | 41 | Matrícula | | 107 | Biblioteca | | 173 | Data center |
| | 42 | Matrícula | | 108 | Biblioteca | | 174 | Decanato |
| | 43 | Matrícula | | 109 | Sala de directores | | 175 | Mesa de Partes |
| | 44 | Matrícula | | 110 | Sala de directores | | 176 | Dirección Administrativa |
| | 45 | Matrícula | | 111 | Sala de directores | | 177 | Investigación |
| | 46 | Matrícula | | 112 | Sala de directores | | 178 | Matrícula |
| | 47 | Matrícula | | 113 | Sala de directores | | 179 | Informática (Jefatura) |
| | 48 | Matrícula | | 114 | Sala de directores | | 180 | NAF |
| | 49 | Informática | | 115 | Posgrado | | 181 | Taller de Informática |
| | 50 | Informática | | 116 | Posgrado | Switch | 182 | Unayoe |
| | 51 | Data center | | 117 | Posgrado | | 183 | Sala de docentes |
| | 52 | Data center | | 118 | Posgrado | | 184 | Biblioteca (oficinas) |
| | 53 | Data center | | 119 | Vicedecanato de Posgrado | | 185 | Biblioteca |
| | 54 | Data center | | 120 | Secretaría de Posgrado | | 186 | Ciberconta |
| | 55 | Estudios Generales | | 121 | Secretaría de Posgrado | | 187 | Sala de directores |
| | 56 | Estudios Generales | | 122 | Secretaría de Posgrado | | 188 | Sala de Posgrado |
| | 57 | Estudios Generales | | 123 | Secretaría de Posgrado | | 189 | Jefatura (Posgrado) |
| | 58 | Estudios Generales | | 124 | Secretaría de Posgrado | | 190 | Aula 400 A |
| | 59 | Taller de Informática | | 125 | Secretaría de Posgrado | | 191 | Aula 408 |
| | 60 | Taller de Informática | | 126 | Secretaría de Posgrado | | 192 | Laboratorio B |
| | 61 | Taller de Informática | | 127 | Dirección de Posgrado | | 193 | Cámara Salón de Grados |
| | 62 | Bienestar | | 128 | Aula 101 | OTROS | 194 | Cámara Laboratorio 1 |
| | 63 | Bienestar | | 129 | Aula 102 | | 195 | Auditorio |
| | 64 | Bienestar | Acad. | 130 | Aula 300 | Switch | 196 | Switch 308 |
| | 65 | Bienestar | | 131 | Aula 301 | | | |
| | 66 | Ceprocon | | 132 | Aula 302 | | | |

## Anexo 10: Matriz de distancia y adyacencia del cableado actual

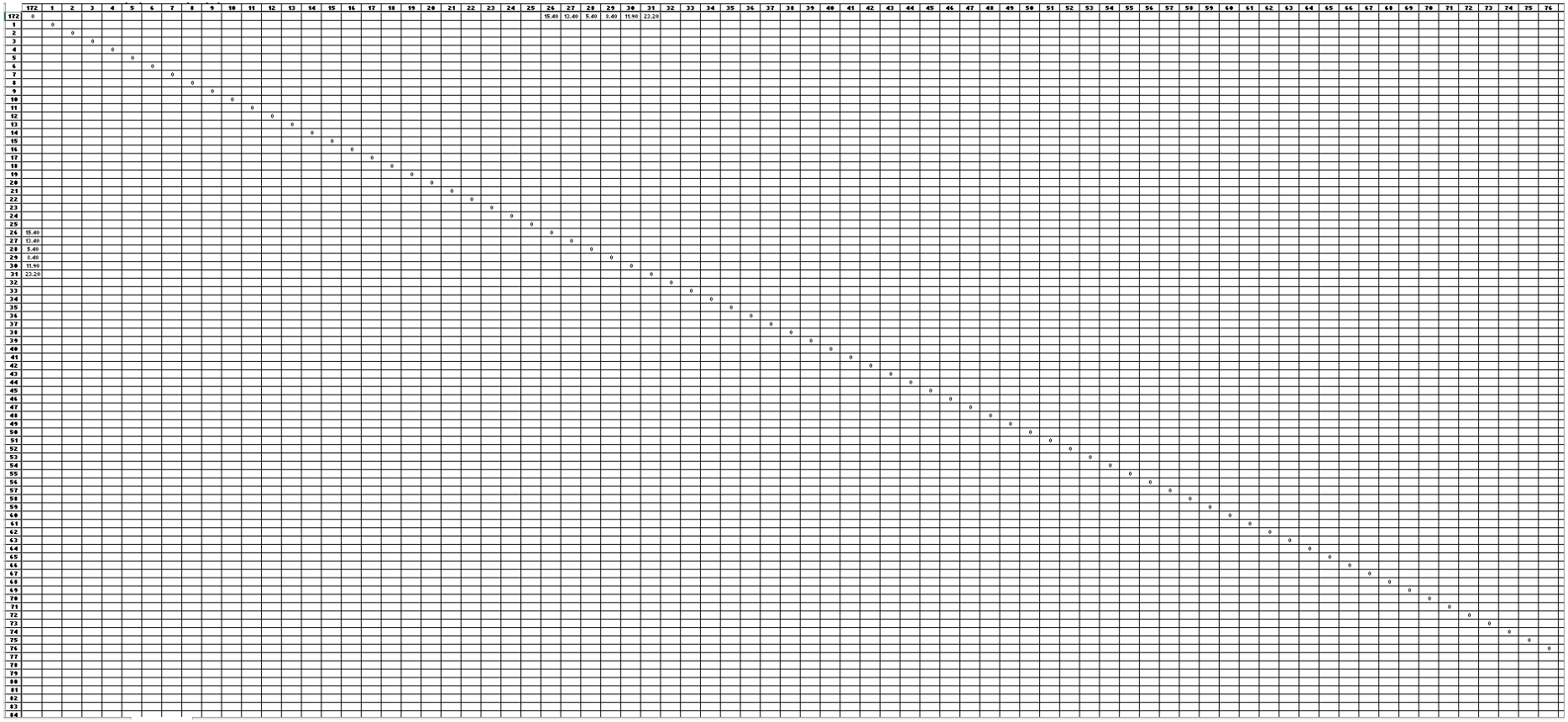


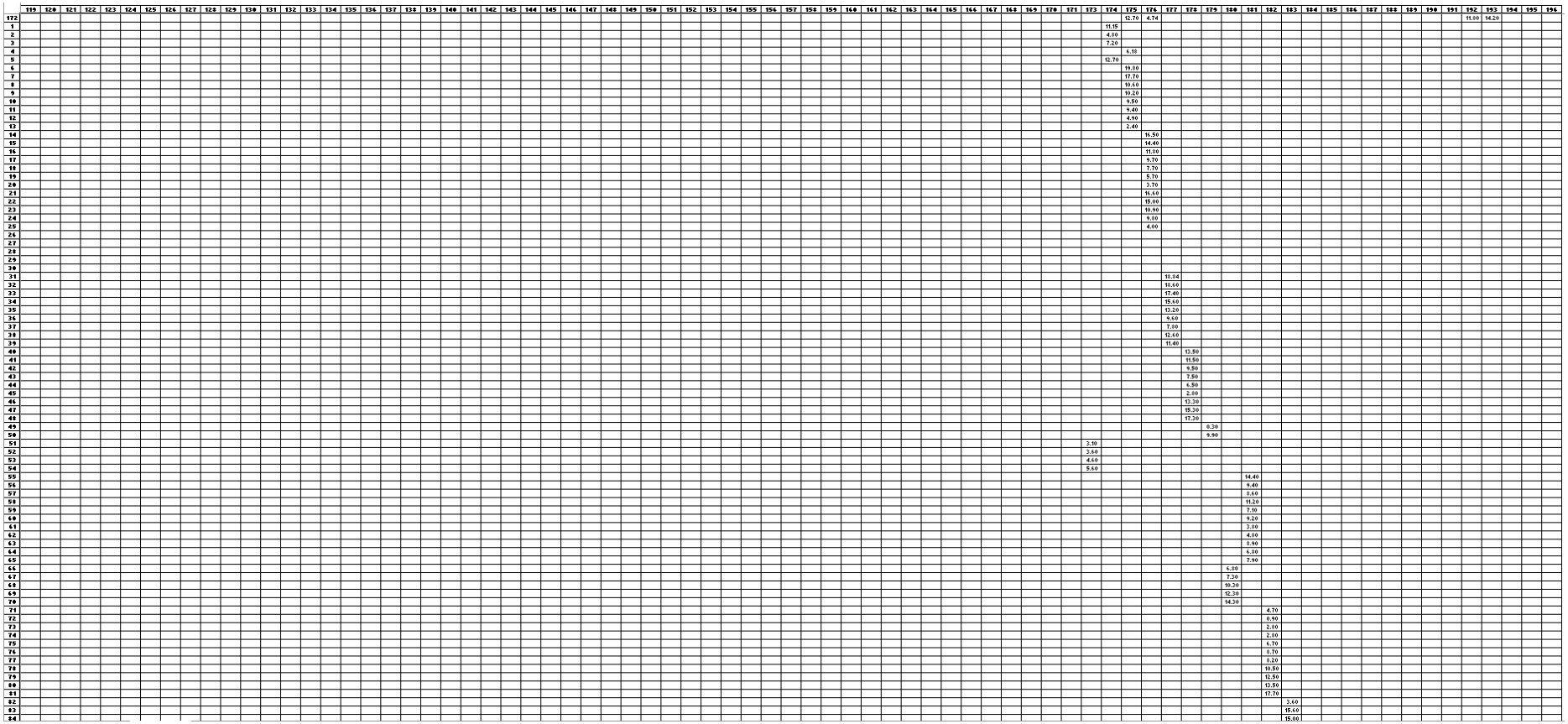


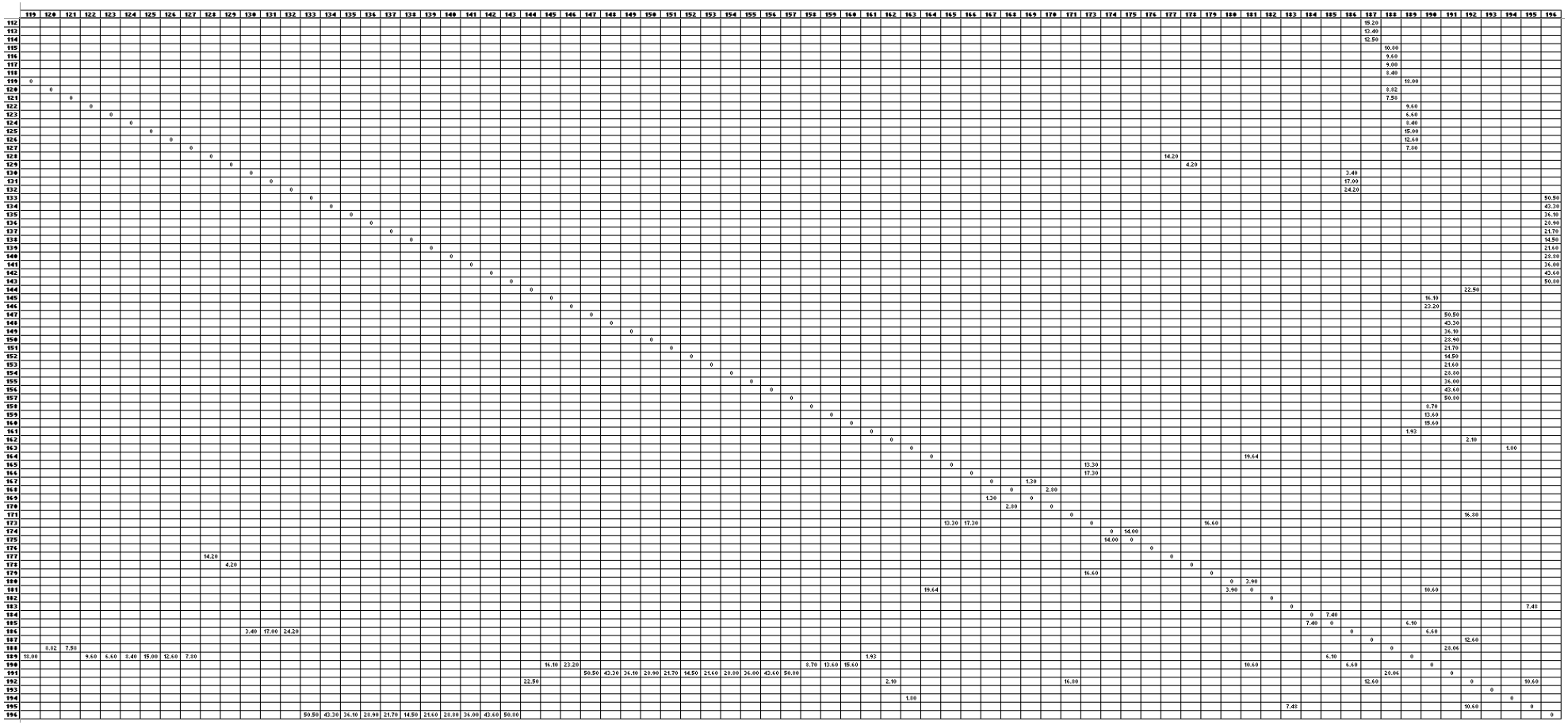




## Anexo 11: Matriz de distancia y adyacencia resultante









**Anexo 6: Matriz de distancia y adyacencia del grafo propuesto**

| | 172 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 112 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 113 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 114 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 115 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 116 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 117 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 118 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 119 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 120 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 121 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 122 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 123 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 124 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 125 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 126 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 127 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 128 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 129 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 130 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 131 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 132 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 133 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 134 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 135 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 136 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 137 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 138 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 139 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 140 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 141 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 142 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 143 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 144 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 145 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 146 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 147 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 148 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 149 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 150 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 151 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 152 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 153 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 154 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 155 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 156 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 157 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 158 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 159 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 160 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 161 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 162 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 163 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 164 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 165 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 166 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 167 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 168 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 169 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 170 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 171 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 173 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 174 | | 11.15 | 4.80 | 7.20 | | 12.70 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 175 | 12.70 | | | | 6.18 | | 19.80 | 17.70 | 10.60 | 10.20 | 9.50 | 9.40 | 4.90 | 2.40 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 176 | 4.74 | | | | | | | | | | | | | | 16.50 | 14.40 | 11.90 | 9.70 | 7.70 | 5.70 | 2.70 | 16.60 | 15.00 | 10.90 | 9.80 | 4.00 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 177 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 18.84 | 18.60 | 17.40 | 15.60 | 13.20 | 9.60 | 7.80 | 12.60 | 11.40 | | |
| 178 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 13.50 | 11.50 |
| 179 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 180 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 181 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 182 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 183 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 184 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 185 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 186 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 187 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 188 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 189 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 190 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 191 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 192 | 11.80 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 193 | 14.20 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 194 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 195 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 196 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

## Anexo 12: Matriz de arcos resultante

| N2 / N1 | 120 | 121 | 122 | 123 | 124 | 125 | 126 | 127 | 128 | 129 | 130 | 131 | 132 | 133 | 134 | 135 | 136 | 137 | 138 | 139 | 140 | 141 | 142 | 143 | 144 | 145 | 146 | 147 | 148 | 149 | 150 | 151 | 152 | 153 | 154 | 155 | 156 | 157 | 158 | 159 | 160 | 161 | 162 | 163 | 164 | 165 | 166 | 167 | 168 | 169 | 170 | 171 | 173 | 174 | 175 | 176 | 177 | 178 | 179 | 180 | 181 | 182 | 183 | 184 | 185 | 186 | 187 | 188 | 189 | 190 | 191 | 192 | 193 | 194 | 195 | 196 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 136 | 0 | 0 | 0

| N2 \ N1 | 120 | 121 | 122 | 123 | 124 | 125 | 126 | 127 | 128 | 129 | 130 | 131 | 132 | 133 | 134 | 135 | 136 | 137 | 138 | 139 | 140 | 141 | 142 | 143 | 144 | 145 | 146 | 147 | 148 | 149 | 150 | 151 | 152 | 153 | 154 | 155 | 156 | 157 | 158 | 159 | 160 | 161 | 162 | 163 | 164 | 165 | 166 | 167 | 168 | 169 | 170 | 171 | 173 | 174 | 175 | 176 | 177 | 178 | 179 | 180 | 181 | 182 | 183 | 184 | 185 | 186 | 187 | 188 | 189 | 190 | 191 | 192 | 193 | 194 | 195 | 196 |
|---|---|---