



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

CADENA DE SUMINISTRO INTEGRAL DEL
EQUIPAMIENTO Y MATERIALES EN UN
PROYECTO DE ELECTRIFICACIÓN, PARA
DOTACIÓN DE SUBESTACIONES DE TRACCIÓN.

Autor: Elisa González Blaya

Director: Carlos Llorente Rodríguez

Madrid, 16 de julio de 2021

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título Cadena de Suministro integral del equipamiento y materiales en un proyecto de Electrificación, para dotación de Subestaciones de Tracción en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el curso académico 2020/21 es de mi autoría, original e inédito y no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: Elisa González Blaya

Fecha: 16 / 07 / 2021

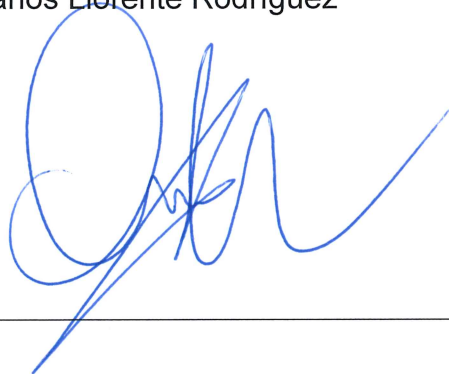


Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Carlos Llorente Rodríguez

Fecha: 16/07/2021





MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

CADENA DE SUMINISTRO INTEGRAL DEL
EQUIPAMIENTO Y MATERIALES EN UN
PROYECTO DE ELECTRIFICACIÓN, PARA
DOTACIÓN DE SUBESTACIONES DE TRACCIÓN.

Autor: Elisa González Blaya

Director: Carlos Llorente Rodríguez

Madrid, 16 de julio de 2021

Agradecimientos

A mis amigos de ICAI, que en todo momento me han servido de apoyo y con los que he compartido muchas experiencias durante estos últimos seis años.

CADENA DE SUMINISTRO INTEGRAL DEL EQUIPAMIENTO Y MATERIALES EN UN PROYECTO DE ELECTRIFICACIÓN, PARA DOTACIÓN DE SUBESTACIONES DE TRACCIÓN

Autor: González Blaya, Elisa.

Director: Llorente Rodríguez, Carlos.

Entidad Colaboradora: Elecnor S.A.

RESUMEN DEL PROYECTO

El presente documento está basado en el estudio y optimización de la Cadena de Suministro de la subestación de Tracción de Lentvaris, en Lituania. Se pretenden instaurar las correctas herramientas de planificación y monitorización del proyecto, para poder realizar una gestión óptima del Proceso de Compras y Logística, cumpliendo con los objetivos planteados, en términos de coste, calidad y tiempos empleados. Para ello se elabora un análisis del diseño de la subestación, se estudia cada fase del proceso y se realiza una planificación detallada de todos los suministros para que lleguen a tiempo a sus respectivas fechas de instalación. Además, se realiza un control y monitorización continuo del proceso, en base a los resultados obtenidos a través de indicadores.

Palabras clave: Subestación de tracción, Gestión de proyectos, PMBOK, Compras, Logística, Planificación, Análisis de riesgos, Costes y Optimización.

1. Introducción

La construcción de la subestación de Lentvaris forma parte del proyecto de Electrificación Ferroviaria de la sección Vilnius – Klaipėda, en Lituania. El alcance del proyecto comprende la ingeniería, aprovisionamiento, logística y construcción de las instalaciones de energía necesarias para la electrificación a 2x25 KV de 731 km de vías ferroviaria, situadas en el eje transversal lituano que conecta la capital, al este del país, con Klaipėda, a las orillas del mar Báltico[1], permitiendo la circulación de más de las tres cuartas partes de la carga de mercancía y dos tercios de los pasajeros del país [2].

2. Definición del Proyecto

Una subestación es un sistema constituido por elementos eléctricos para poder enlazar diferentes líneas en el mismo nivel de tensión y transformar la energía eléctrica de unos niveles de tensión a otros, reduciendo o elevando la tensión [3]. En concreto, una subestación de tracción permite abastecer de energía eléctrica a la catenaria de una línea ferroviaria [4]. Se necesita, por tanto, analizar la compra y logística de todo el equipamiento necesario para convertir la energía eléctrica de la red a unas condiciones de tensión, corriente y frecuencia adecuados para su uso en medios de transporte.

Por ello, se realiza un análisis de los requerimientos de la subestación de Lentvaris, estableciendo todos los elementos eléctricos y de obra civil en lo denominado Plan de Compras de la subestación.

3. Descripción del proceso

Una vez extraído el Plan de Compras del diseño de la subestación, se procede a la fase de planificación del proyecto. Para ello, se debe definir el alcance del proceso, estableciendo todas las fases que conlleva la llegada del material a obra. Además, se realiza un estudio de tiempos de cada una de las tareas del Plan de Compras y Logística, para poder establecer las líneas de tiempo del proyecto que cumplan con los hitos necesarios para su posterior construcción. Por otro lado, esta estrategia supone realizar un estudio de los costes y una evaluación de riesgos y así anteponerse a los diferentes escenarios que se puedan dar y disponer de reservas suficientes en el proyecto.

Finalmente, durante la ejecución del proyecto, se lleva a cabo un proceso de control y monitorización en el que se gestiona el progreso del proyecto y se comprueba su avance acorde a las metas establecidas.

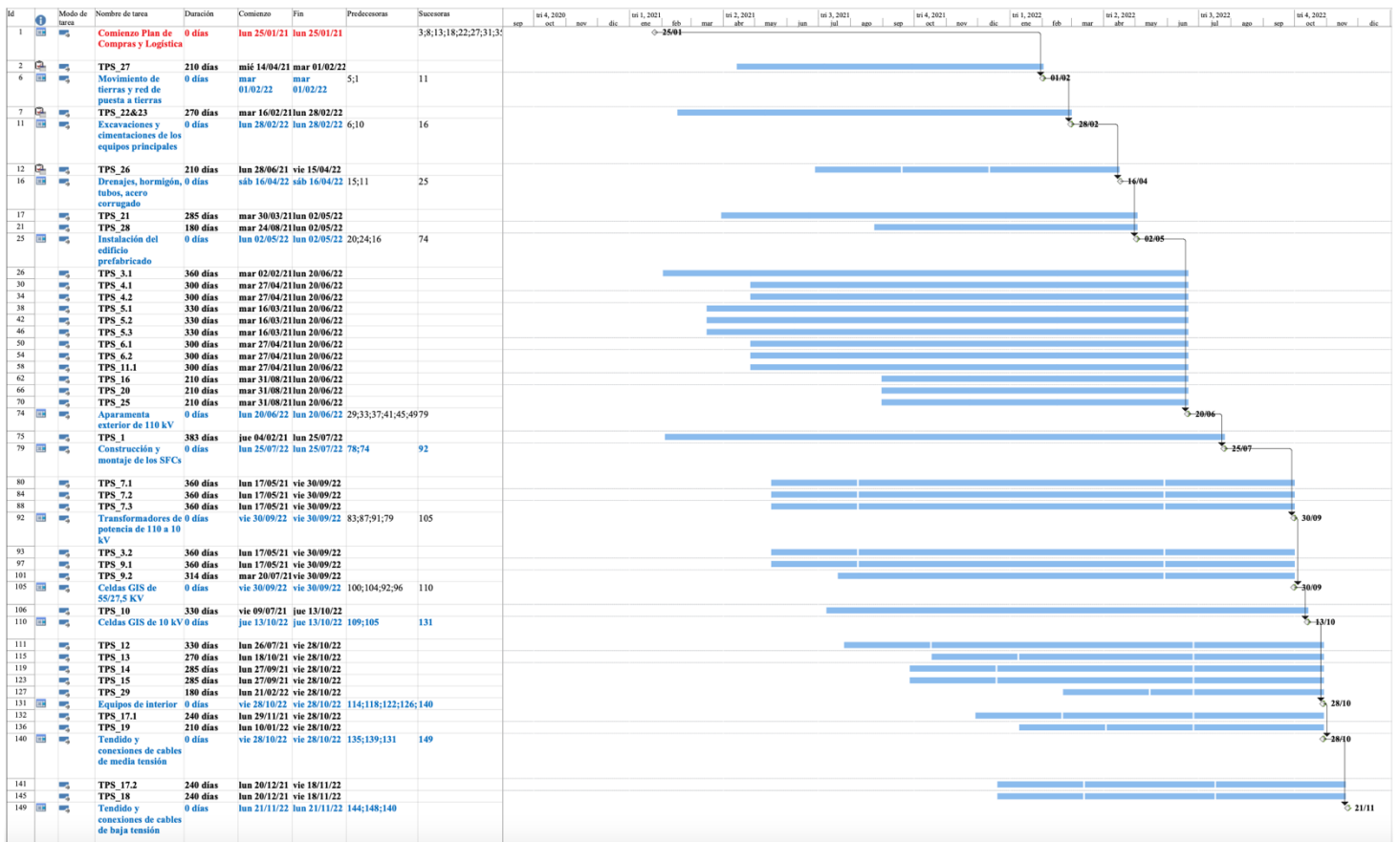


Figura 1: Diagrama de Gantt de la Cadena de Suministro de Lentvaris

4. Resultados

Los resultados finales se podrán realizar en la fase de cierre del proyecto, que se dará en noviembre de 2022. Sin embargo, debido a la constante retroalimentación llevada durante todo el proceso, se ha podido establecer un análisis económico y de la planificación de los resultados obtenidos a 30 de junio de 2021.

En el estudio del progreso del proyecto y de los indicadores establecidos en la fase de planificación, se ha demostrado que la Cadena de Suministro del equipamiento y material de la subestación va acorde a los objetivos establecidos lo que supone una gestión correcta de las fases del proceso. Sin embargo, se debe hacer especial hincapié en aquellos suministros críticos, ya que su retraso puede suponer un riesgo en el avance de la construcción de la subestación.

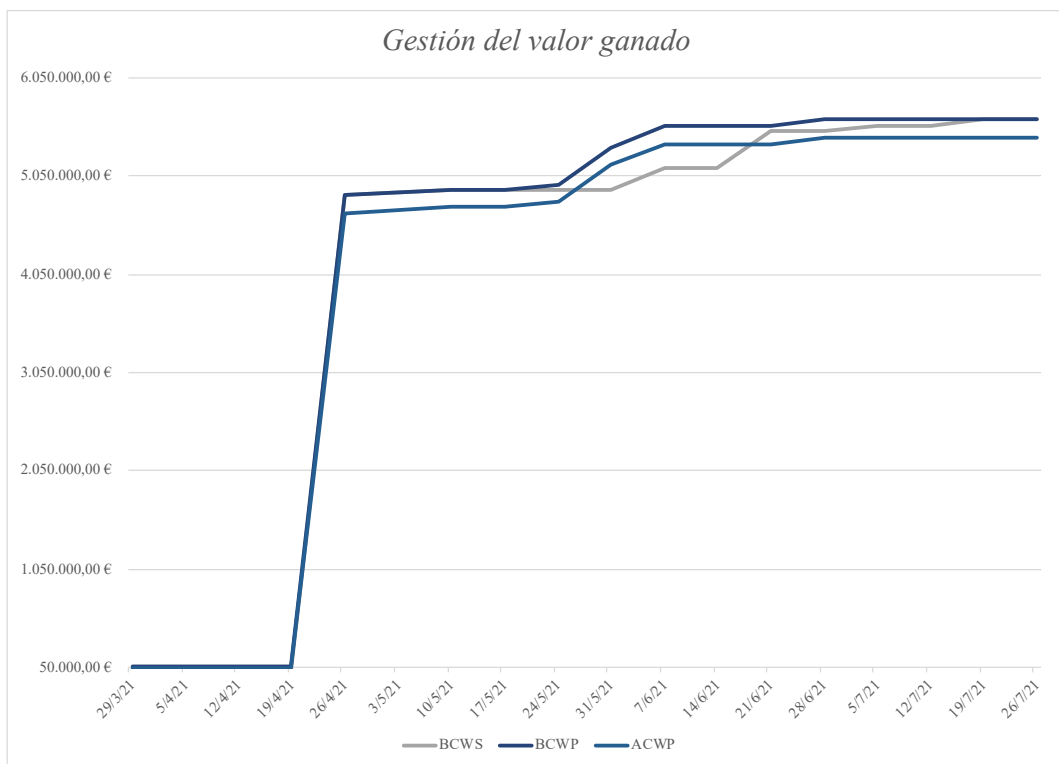


Figura 2: Earned Value Analysis

5. Conclusiones

El presente trabajo ha consistido en el estudio de la Cadena de Suministro de una Subestación de Tracción, para un proyecto de Electrificación Ferroviaria en Lituania. Sin embargo, se ha pretendido realizar un análisis detallado de todas las fases del proceso y a la vez adaptable a cualquier proyecto de Cadena de Suministro. Además, es importante indicar que este tipo de actividades constructivas de gran entidad y calado socio-económico en un país, junto con la consecución del éxito final en la gestión de proyectos, tienen un impacto enorme a la hora de aportar valor social,

vertebrando y mejorando las comunicaciones entre diferentes poblaciones y por lo tanto entre las personas, percepción positiva y satisfacción del cliente final, afianzamiento de la buena reputación de la empresa contratista dentro de su sector de actividad y al mismo tiempo, ejecutándose de manera respetuosa y sostenible con el medio ambiente, acorde al compromiso a los nuevos tiempos.

6. Referencias

- [1] Inabelec, “Vilnius-Klaipeda Railway Electrification Project.” 2021.
- [2] Elecnor, “Elecnor se adjudica uno de los proyectos estratégicos de la red ferroviaria en Lituania.” <https://www.elecnor.com/noticias/elecnor-se-adjudica-uno-de-los-proyectos-estrategicos-de-la-red-ferroviaria-en-lituania>.
- [3] J. Díaz Pampín, “APUNTES DE: CENTRALES y SUBESTACIONES ELÉCTRICAS Departamento de Ingeniería Eléctrica.” 2018.
- [4] Wikipedia, “Subestación de tracción.” https://es.wikipedia.org/wiki/Subestaci3n_de_tracci3n.

INTEGRATED SUPPLY CHAIN OF EQUIPMENT AND MATERIALS IN AN ELECTRIFICATION PROJECT, FOR THE SUPPLYING OF TRACTION POWER SUBSTATIONS.

Author: González Blaya, Elisa.

Supervisor: Llorente Rodríguez, Carlos.

Collaborating Entity: Elecnor S.A

ABSTRACT

This document is based on the study and optimization of the Procurement and Logistic procedures of the Lentvaris Traction Power Substation in Lithuania. The main objective is to establish the correct planning and monitoring tools for the project, in order to achieve an optimal management of the Supply Chain Process, meeting the objectives set, in terms of cost, quality and time spent. To this end, an analysis of the substation design is carried out, each phase of the procurement and logistic process is studied, and a detailed planning of all supplies is performed, so all equipment and materials arrive on time to their respective installation dates. In addition, a continuous control and monitoring of the process is accomplished, based on the results obtained through Key Performance Indicators.

Keywords: Traction Power Substation, Project Management, PMBOK, Procurement, Logistic, Planning, Risk analysis, Costs and Optimization.

1. Introduction

The construction of Lentvaris Traction Power Substation is one of the main parts of the Railway Electrification of the section Vilnius – Klaipėda, in Lithuania. The scope of the project includes the engineering, procurement, logistics and construction of the energy installations for the electrification at 2x25 kV of 731 km of the railway lines, located on the Lithuanian transverse belt to link the capital, in the east of the country, with Klaipėda, on the shores of the Baltic Sea [1], allowing the circulation of more than three-quarters of the country's freight and two-thirds of its passengers [2].

2. Project definition

A substation is a system made up of electrical elements for linking different lines at the same voltage level and transforming electrical energy from one voltage level to another, reducing or raising the power [3]. In particular, a traction power substation allows the supply of electrical energy to the overhead catenary line [4]. A more in-depth analysis of the equipment and materials design is required to convert the electrical energy from the grid to power, current and frequency conditions suitable for the use in means of transport.

Therefore, a requirements analysis of Lentvaris substation is carried out, establishing all the electrical equipment and civil works in what is called the Substation Procurement Plan.

3. Process description

The project planning begins once the Procurement Plan has been extracted from the substation design. To do this, the scope of the process must be defined, establishing all the phases involved in the arrival of the material on site. In addition, a time study is carried out for each of the tasks in the Procurement and Logistics Plan, in order to establish the project timelines that meet the milestones necessary for its subsequent construction. On the other hand, this strategy involves carrying out a study of costs and a risk assessment in order to be prepared for different scenarios that may arise and to have adequate reserves in the project.

Finally, during the execution of the project, a control and monitoring process is carried out in which the progress of the project is managed, and its progress is checked in accordance with the established goals.

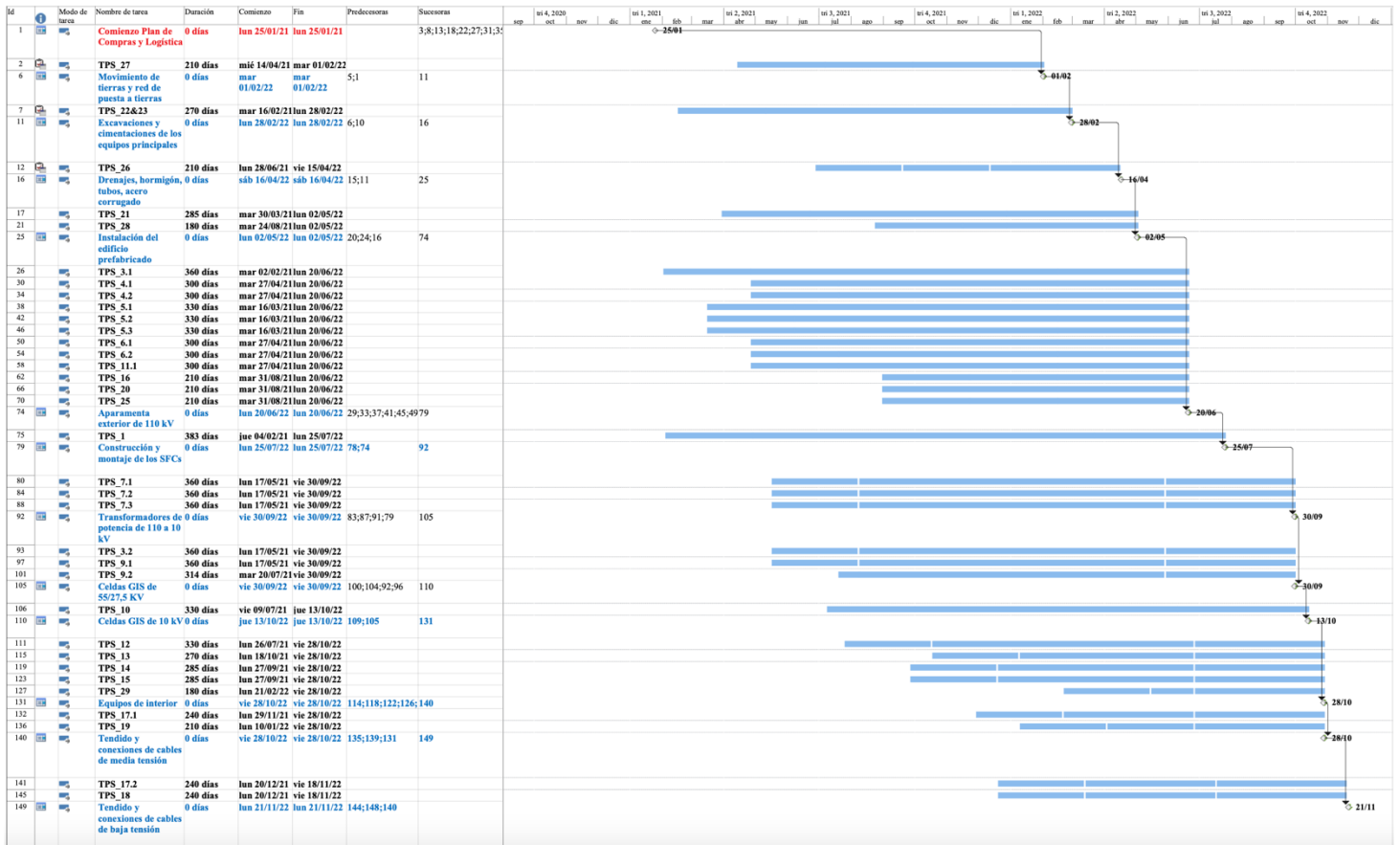


Figure 1: Gantt diagram of the Supply Chain for Lentvaris Substation

4. Results

Final results can be completed in the closing phase of the project, which would take place in November 2022. However, due to the constant feedback throughout the process, it has been possible to establish an economic and planning analysis of results achieved by the 30th of June of 2021.

In the project progress and key performance indicators analysis, it has been confirmed that the Supply Chain of the equipment and materials of the substation meets established objectives, which means a correct management of all tasks. However, special emphasis must be placed on those critical supplies, as their delay would affect the progress of the substation construction.

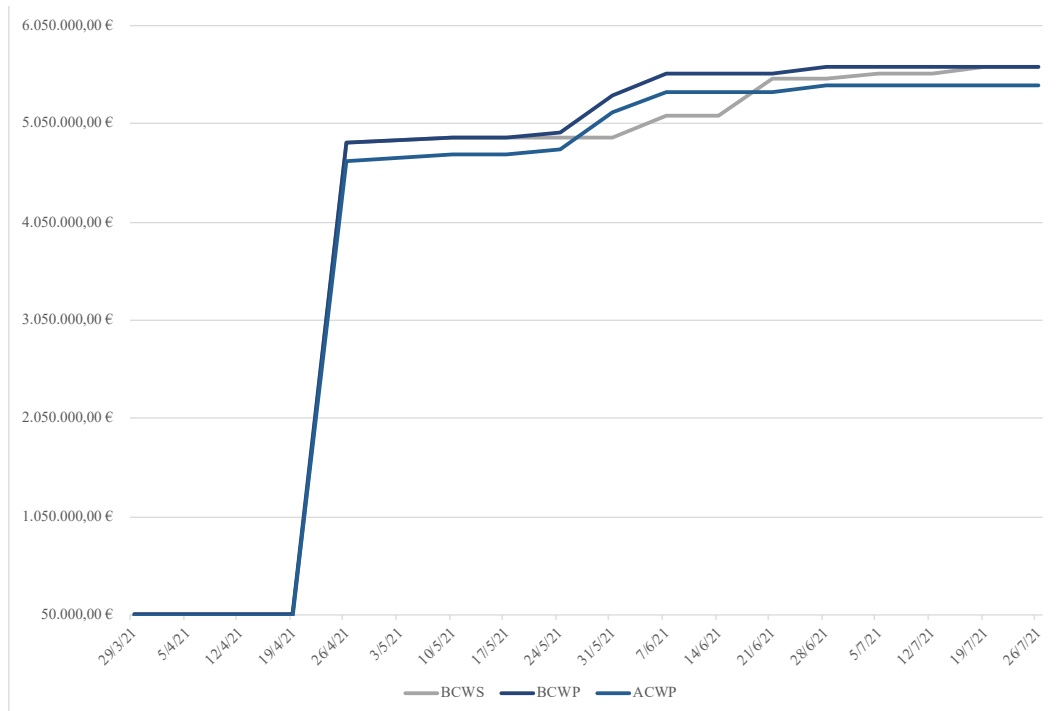


Figure 2: Earned Value Analysis

5. Conclusions

The present work has consisted of the study of the Traction Power Substation Supply Chain for a Railway Electrification project in Lithuania. However, the aim was to carry out a detailed analysis of all phases of the process but to be adaptable at the same time to any Supply Chain project. However, it is important to point out that this type of construction activities of great socio-economic importance in a country, together with the achievement of final success in project management, have an enormous impact when it comes to providing social value, structuring and improving communications between different populations and therefore between people, positive perception and final client's satisfaction, strengthening the good reputation of the contractor company within its sector of activity and at the same time, being executed in a respectful and sustainable way with the environment in accordance with the commitment to the new era.

6. References

- [1] Inabelec, “Vilnius-Klaipeda Railway Electrification Project.” 2021.
- [2] Elecnor, “Elecnor se adjudica uno de los proyectos estratégicos de la red ferroviaria en Lituania.” <https://www.elecnor.com/noticias/elecnor-se-adjudica-uno-de-los-proyectos-estrategicos-de-la-red-ferroviaria-en-lituania>.
- [3] J. Díaz Pampín, “APUNTES DE: CENTRALES y SUBESTACIONES ELÉCTRICAS Departamento de Ingeniería Eléctrica.” 2018.
- [4] Wikipedia, “Subestación de tracción.” https://es.wikipedia.org/wiki/Subestaci3n_de_tracci3n.

Índice de la memoria

Capítulo 1. Introducción	10
1.1 Planteamiento del proyecto	10
1.2 Contexto	12
1.2.1 Introducción	12
1.2.2 Infraestructura existente en Lituania	12
1.2.3 Solución Propuesta.....	13
1.3 Motivación del proyecto.....	16
Capítulo 2. Estado de la Cuestión.....	17
2.1 Introducción.....	17
2.2 Project Management Body of Knowledge	19
Capítulo 3. Planificación y Descripción del proceso.....	22
3.1 Justificación.....	22
3.2 Objetivos	22
3.3 Recursos a emplear.....	23
3.4 Metodología de trabajo.....	23
Capítulo 4. Diseño de la Subestación de Lentvaris	25
4.1 Definición y Componentes de una Subestación	25
4.2 Descripción del Diseño de la Subestación de Lentvaris.....	27
4.2.1 Introducción	27
4.2.2 Posición de líneas de alimentación	28
4.2.3 Embarrados de 110 KV	29
4.2.4 Posición de transformadores de líneas DLB.....	30
4.2.5 Sistema de Tracción	33
4.2.6 Conexiones de líneas AB de 10 kV	36

4.2.7 Parque Exterior de 27,5 KV	37
4.2.8 Edificio de Control	38
4.2.9 Zona de Salida a Catenaria.....	40
Capítulo 5. Planificación de la Subestación de Lentvaris.....	43
5.1 Introducción.....	43
5.2 Plan de compras.....	44
5.3 Plan de Construcción.....	47
5.4 Proceso de Compras	53
5.4.1 Elaboración del Paquete Técnico.....	55
5.4.2 Petición de Oferta.....	56
5.4.3 Elaboración de la oferta.....	58
5.4.4 Revisión Técnica.....	58
5.4.5 Revisión Económica	59
5.4.6 Revisión de Calidad.....	65
5.4.7 Elaboración del Comparativo	68
5.4.8 Short List	70
5.4.9 Negociación y Propuesta de Adjudicación.....	71
5.4.10 Ratios	73
5.5 Proceso de Logística.....	75
5.5.1 Aprobación de los documentos técnicos.....	75
5.5.2 Fabricación del suministro.....	76
5.5.3 Ensayos FAT.....	77
5.5.4 Empaquetado y carga del suministro	77
5.5.5 Transporte del Material	79
5.5.6 Inspección del Material	83

5.5.7 Llegada a almacén	83
5.6. Gestión de Tiempos.....	85
5.6 Estudio de Costes	90
5.7 Análisis de Riesgos	92
5.7.1 Identificación y análisis de riesgos	92
5.7.2 Planificación de la gestión de riesgos.....	94
5.7.3 Riesgos residuales	101
Capítulo 6. Monitorización y Seguimiento de la Cadena de Suministro.....	103
6.1 Introducción.....	103
6.2 Indicadores	104
Capítulo 7. Análisis de Resultados.....	114
7.1 Análisis de Resultados.....	114
7.2 Análisis Económico.....	116
7.3 Análisis de Sostenibilidad	120
Capítulo 8. Conclusiones y Trabajos Futuros.....	122
Capítulo 9. Bibliografía.....	124

Índice de figuras

Figura 1: Plano del proyecto de Electrificación Ferroviaria de la sección Vilnius-Klaipėda[1]	11
Figura 2: Plano de las subestaciones y centros de transformación de la sección Vilnius - Klaipėda[1]	15
Figura 3: Tasa de Éxito de los proyectos analizados por el informe Chaos 2011-2015[4].	17
Figura 4: Ciclo de vida de un proyecto[5]	21
Figura 5: Diagrama de Gantt del Trabajo Fin de Máster	24
Figura 6: Plano de desmontaje del actual equipamiento de la subestación de Lentvaris[17]	27
Figura 7: Detalle del diagrama unifilar de 110 kV de la subestación[18]	28
Figura 8: Detalle de la posición de barras de 110 kV[19]	29
Figura 9: Detalle de la sección de línea L-VE3 junto con la posición del transformador T-1[20]	31
Figura 10: Detalle de la posición del transformador T-2[21]	31
Figura 11: Diagrama unifilar del parque de 27,5 kV hacia la DLB[22]	32
Figura 12: Detalle de la línea L-Vilnius junto con la posición del SFC[24]	34
Figura 13: Diagrama unifilar del parque de 27,5 kV hacia el sistema de tracción[25]	35
Figura 14: Diagrama unifilar del parque de 110 kV de la subestación de Lentvaris[18]	36
Figura 15: Diagrama unifilar del parque de 10 kV hacia las líneas AB[26]	37
Figura 16: Plano del edificio de control de la subestación[16]	39
Figura 17: Planta de la subestación de Lentvaris[27]	42
Figura 18: Hitos constructivos de la subestación de Lentvaris	50
Figura 19: Diagrama de flujo del proceso de compras	54
Figura 20: Esquema de las fases de revisión técnica y económica	59
Figura 21: Diagrama de flujo del Proceso de Logística	75
Figura 22: Contenedores de carga completa y carga parcial[31]	79
Figura 23: Incoterms 2010[33]	80
Figura 24: Mapa en función del tiempo del Proceso de Compras	86
Figura 25: Diagrama de flujo de la metodología Agile[7]	103

Índice de gráficos

Gráfico 1: Coste acumulado de la Cadena de Suministro de la subestación.....	91
Gráfico 2: Matriz de riesgos del proceso.....	93
Gráfico 3: Matriz de riesgos residuales	101
Gráfico 4: Earned Value Analysis	118

Índice de tablas

Tabla 1: Aparamenta de la posición de líneas de alimentación[18]	29
Tabla 2: Aparamenta de la posición de barras de 110 kV[19]	30
Tabla 3: Aparamenta de la posición de transformador hacia la DLB[20][21]	32
Tabla 4: Aparamenta de la posición del SFC[24].....	34
Tabla 5: Aparamenta de la posición de líneas AB[26]	37
Tabla 6: Aparamenta del parque exterior de 27,5 kV[18]	38
Tabla 7: Aparamenta del interior del edificio de control[22][25][26].....	40
Tabla 8: Aparamenta de salida a catenaria[25]	42
Tabla 9: BoQ del equipamiento eléctrico de la subestación de Lentvaris.....	45
Tabla 10: BoQ del cableado y otros accesorios de la subestación	45
Tabla 11: BoQ del material de Obra Civil de la subestación	45
Tabla 12: Plan de Compras de la subestación De Lentvaris.....	47
Tabla 13: Fechas de comienzo de la instalación del equipamiento y material del Plan de Compras.....	52
Tabla 14: Recursos necesarios para cada una de las fases del Proceso de Compras.....	55
Tabla 15: Tabla de puntuación del precio de las ofertas de los proveedores	61
Tabla 16: Tabla de puntuación del plazo de entrega propuesto por los proveedores	62
Tabla 17: Tabla de puntuación del método de pago propuesto por los proveedores.....	63
Tabla 18: Tabla de puntuación según las referencias enviadas por el proveedor.....	63
Tabla 19: Tabla de puntuación de la situación económica del proveedor.....	64
Tabla 20: Tabla de puntuación de la capacidad de fabricación del proveedor	65
Tabla 21: Tabla de puntuación del factor de calidad del proveedor.....	68
Tabla 22: Tabla de pesos de la oferta completa del proveedor, en términos técnicos, económicos y de calidad.....	69
Tabla 23: Tiempo estimado de fabricación de los suministros de la subestación	77
Tabla 24: Medidas interiores de los contenedores más utilizados tipo Dry Van[30].....	78
Tabla 25: Almacenaje del equipamiento y material de la subestación de Lentvaris.....	84
Tabla 26: Estimación de los tiempos del Proceso de Compras	85
Tabla 27: Estimación de los tiempos del Proceso de Logística.....	86

Tabla 28: Prioridades de los ítems del Plan de Compras de la subestación	89
Tabla 29: Coste previsto de cada uno de los ítems del Plan de Compras de la subestación	91
Tabla 30: Estudio de riesgos del Proceso de Compras	92
Tabla 31: Estudio de riesgos del Proceso de Logística	93
Tabla 32: Clasificación de los riesgos estudiados	94
Tabla 33: Plan de respuesta ante los riesgos del Proceso de Compras	95
Tabla 34: Plan de respuesta ante los riesgos del Proceso de Logística	98
Tabla 35: Tabla de los riesgos residuales del Proceso de Compras	102
Tabla 36: Tabla de los riesgos residuales del Proceso de Logística	102
Tabla 37: Porcentaje de avance de cada fase del Proceso de Compras	108
Tabla 38: Desviación del coste real de los suministros con respecto al estimado.....	116
Tabla 39: Comparativa de coste y fecha del pedido de compra	117
Tabla 40: Tabla de desviaciones de coste y programación	119
Tabla 41: Tabla de indicador de rendimientos de coste y programación	119

Índice de ecuaciones

Ecuación 1: Valoración del proveedor en términos técnicos, económicos y de calidad	69
Ecuación 2: Ratio de la propuesta de adjudicación	73
Ecuación 3: Ratio de preselección de proveedores	73
Ecuación 4: Ratio de validación técnica de los proveedores.....	73
Ecuación 5: Ratio de Estudio de Mercado.....	73
Ecuación 6: Ratio total	74
Ecuación 7: Desviación de la fecha de llegada del Paquete Técnico	104
Ecuación 8: Desviación del tiempo de elaboración de la oferta del proveedor x.....	104
Ecuación 9:Desviación del tiempo de revisión de la oferta técnica y de calidad	105
Ecuación 10: Número de revisiones realizadas por el proveedor.....	105
Ecuación 11: Desviación del tiempo de revisión de la oferta económica	105
Ecuación 12: Desviación del coste de la oferta del proveedor con respecto a la previsión	106
Ecuación 13: Desviación del coste de la oferta del proveedor con respecto a otros proveedores.....	106
Ecuación 14: Desviación económica de la propuesta del proveedor.....	106
Ecuación 15: Desviación técnica de la propuesta del proveedor.....	106
Ecuación 16: Desviación de calidad de la propuesta del proveedor.....	107
Ecuación 17: Valoración total del proveedor	107
Ecuación 18: Desviación del tiempo de negociación de la oferta	107
Ecuación 19: Desviación de la fecha de Orden de Compras del suministro	108
Ecuación 20: Desviación del tiempo de revisión y aprobación de la documentación final	109
Ecuación 21: Desviación del tiempo de fabricación del suministro.....	109
Ecuación 22: Desviación del tiempo empleado para las pruebas FAT	109
Ecuación 23: Porcentaje de equipos defectuosos	110
Ecuación 24: Desviación del tiempo empleado en el transporte del suministro	110
Ecuación 25: Desviación del tiempo de inspección del material	110
Ecuación 26: Desviación de la fecha de llegada del material a construcción	110

Ecuación 27: Cálculo de la desviación del coste en un periodo de tiempo determinado, en euros.....	111
Ecuación 28: Cálculo de la desviación del coste en un periodo de tiempo determinado, en porcentaje.....	111
Ecuación 29: Cálculo de la desviación de la planificación en un periodo de tiempo determinado, en euros.....	111
Ecuación 30: Cálculo de la desviación de la planificación en un periodo de tiempo determinado, en porcentaje.....	112
Ecuación 31: Cálculo del indicador del rendimiento de costes	112
Ecuación 32: Cálculo del indicador del rendimiento del programa	112

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO

El presente documento estudia la Cadena de Suministro de la subestación de Lentvaris, primera subestación a construir en el proyecto de Electrificación Ferroviaria de la sección Vilnius-Klaipèda, adjudicado a la empresa Elecnor, S.A. en Lituania, en un consorcio con una participación al 50 % con Inabensa Instalaciones. Se trata de uno de los proyectos de mayor envergadura del país lituano en el que el la *Joint Venture* adjudicataria es responsable de su diseño y ejecución, el cual abarcará aproximadamente 4 años de duración.[1]

El alcance del proyecto comprende la ingeniería, procura y aprovisionamiento, logística y construcción de las instalaciones de energía necesarias para la electrificación a 2x25 KV de 731 km de vías ferroviaria, situadas en el eje transversal lituano que conecta la capital, al este del país con Klaipèda, tercera ciudad más poblada de Lituania, a las orillas del mar Báltico. El proyecto se divide en las siguientes sub-fases:

- Etapa I: Nudo de Vilnius
Electrificación de 114 km y remodelación de la subestación de Lentvaris, que corresponde con la estudiada en este Trabajo de Fin de Máster.
- Etapa II: Kaisadorys-Radviliskis
261 km de vía electrificada, remodelación de la subestación de Zaisliai y construcción de la nueva subestación de Zeimiai y de cuatro centros de transformación.
- Etapa III: Radviliskis-Klaipèda
356 km de electrificación y construcción de tres nuevas subestaciones (Linkaiciai, Tarvainai y Kretinga) y de cuatro centros de transformación.

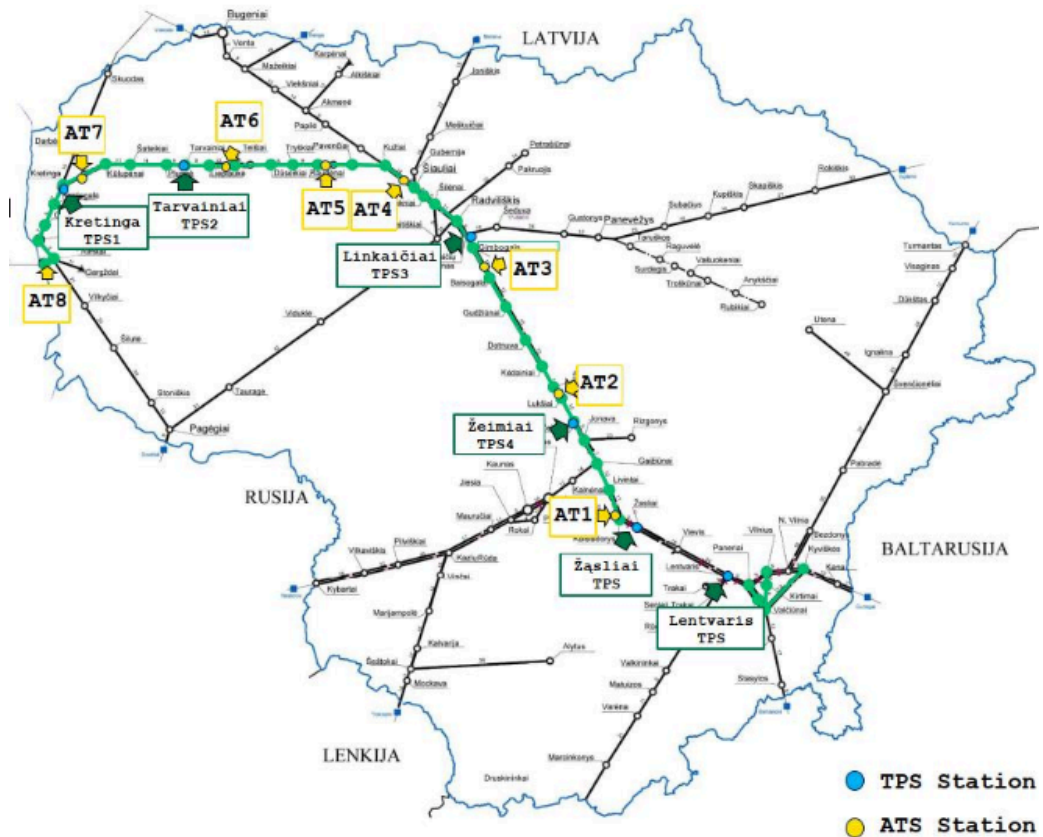


Figura 1: Plano del proyecto de Electrificación Ferroviaria de la sección Vilnius-Klaipėda[1]

Además, se instalará un sistema de control y monitorización de las subestaciones y catenaria y se adaptarán los sistemas actuales de señalización y telecomunicación. [1]

Se trata de un proyecto clave para el desarrollo del sector ferroviario en Lituania, ya que completa la electrificación del Corredor IX-B, uno de los principales ejes de circulación de mercancías de los países bálticos, permitiendo la circulación de trenes eléctricos desde la frontera de Bielorrusia hasta el puerto de Klaipėda. [2]

1.2 CONTEXTO

1.2.1 INTRODUCCIÓN

En el año 2018, el gobierno lituano inició una licitación internacional, con apoyo financiero de la Unión Europea, para la electrificación de los siguientes tramos ferroviarios:

- Vilnius - Cruce Kaisiadorys - Klaipėda.
- Sucursal de Kirtimai.
- Circunvalación de Vilnius - Cruce de Paneriai.

Esta inversión tiene como objetivo conectar la frontera de Bielorrusia con el puerto de carga de Klaipėda, aprovechando el tramo electrificado ya existente que recorre la frontera de Bielorrusia a Vilnius.

El contrato fue adjudicado en enero de 2020 por los ferrocarriles lituanos LTG-I al consorcio compuesto por Elecnor, S.A. (50%) e Instalaciones Inabensa, S.A. (50%).

Después de la adjudicación del contrato, se realizó una orden de modificación del sistema de electrificación debido al gran volumen de la infraestructura de la red de Alta Tensión cuya robustez era insuficiente si se mantenían los diseños del país lituano.

Se formalizó, por tanto, un nuevo enfoque de diseño y es en octubre de 2020 cuando se alcanzó un acuerdo de orden de variación del sistema de electrificación y se inició el proceso de EPC (*Engineering – Procurement – Construction*) para el desarrollo del proyecto.[1]

1.2.2 INFRAESTRUCTURA EXISTENTE EN LITUANIA

1.2.2.1 Infraestructura de tracción

Actualmente las infraestructuras ferroviarias de Lituania se encuentran parcialmente electrificadas a través dos subestaciones eléctricas de tracción muy antiguas, que datan de la era soviética, denominadas Lentvaris y Zasliai; con una subestación eléctrica de tracción recientemente mejorada (Nudo de Vilnius). El sistema de electrificación es de 1x25 kV, suponiendo una gran desventaja frente al sistema 2x25 kV en términos de:

- Mayores caídas de tensión eléctrica, lo que supone mayores pérdidas
- Mayor número de puntos de conexión a la red de transporte

- Mayor número de perturbaciones electromagnéticas
- Mayor corriente de retorno

En cuanto a la línea aérea de contacto, el tramo actual electrificado va desde la frontera con Bielorrusia hasta el cruce de Kaisiadorys.[1]

1.2.2.2 Infraestructura de red

Por otro lado, la infraestructura de red existente se halla en un estado deficiente debido a la falta de mantenimiento y al aumento constante de la demanda de energía a lo largo de los últimos años, lo que ha puesto al sistema eléctrico lituano en una situación delicada.

Algunos de los aspectos a destacar serían los parámetros de las redes principales en áreas industriales y locales, como puede ser el voltaje nominal – 110 kV, comparado con el voltaje de alimentación real – 119 kV, o el déficit de energía reactiva. Estos aspectos muestran la existencia de una red demasiado débil, perdiendo fiabilidad. Por ello, se están abordando pequeñas soluciones a corto plazo, como la construcción de enormes baterías cerca de la ciudad de Klaipėda.

Sin embargo, la situación de la red eléctrica requiere una solución técnica para así poder planificar y estimar el consumo de la energía en las subestaciones de tracción, reducir al mínimo posible el desequilibrio de la red y realizar estudios detallados de los armónicos en los puntos de conexión a la red eléctrica.

1.2.3 SOLUCIÓN PROPUESTA

La solución propuesta por el consorcio tiene como objetivos satisfacer las peticiones del cliente e integrar nuevos sistemas a las infraestructuras ya existentes, para sí poder proporcionar un rendimiento óptimo en la red eléctrica. Esta solución está basada en Convertidores Estáticos de Frecuencia (en inglés - SFC, *Static Frequency Converter*)

El proyecto, por tanto, se dividiría en dos partes diferenciadas:

ZONA PREVIAMENTE ELECTRIFICADA – DE BIELORRUSIA A KAISIADORYS

El alcance del proyecto en la parte ya electrificada es el siguiente:

- Mantener la subestación del Nudo de Vilnius, construida en 2010.

- Renovación de la subestación de tracción de Lentvaris, manteniendo parte del equipamiento e instalando un nuevo sistema de electrificación de 1x25 kV basado en el SFC.

El alcance de la subestación consiste en la instalación de tres parques de consumo, dos de ellos alimentan a las líneas DLB y un tercero para el SFC. El parque de 110 kV está basado en los transformadores de potencia de 110/27,5 kV para la salida a catenaria además de otros subsistemas y comunicaciones.

- Renovación de la subestación de tracción de Zaisliai, con un proceso similar al de Lentvaris.

ZONA NO ELECTRIFICADA – DE KAISIADORYS A KLAIPEDA

La segunda parte del proyecto consiste en una nueva electrificación en un sistema 2x25 kV, garantizando una mayor flexibilidad comparada con el sistema 1x25 kV. Las fases de construcción de este tramo no electrificado se muestran a continuación:

- Construcción del primer centro de transformación (AT_1), en el cruce de Kaisiadorys, para la unión de los dos sistemas de electrificación.
- Instalación de la subestación de tracción de Zeimiai, que utilizará un sistema de tracción de 2x25 kV, basado en el SFC.

En esta fase del proyecto se instala un parque de consumo para la alimentación del SFC. Sin embargo, el parque de 110 kV queda fuera del alcance de esta subestación. Se realiza, por tanto, el diseño de todas las instalaciones que parten del SFC al pórtico de la catenaria, además del sistema de comunicaciones y otros subsistemas.

- Nuevo AT_2 , con el mismo alcance que AT_1 .
- Nuevo AT_3 , con el mismo alcance que AT_1 .
- Instalación de la subestación de tracción de Linkaiciai que utilizará un sistema de tracción de 2x25 kV, basado en el SFC, al igual que Zeimiai.
- Nuevo AT_4 , con el mismo alcance que AT_1 .
- Nuevo AT_5 , para conectar a una sección de vía única y con el mismo alcance que AT_1 .
- Nuevo AT_6 , con el mismo alcance que AT_1 .

- Instalación de la subestación de tracción de Tarvainiai que utilizará un sistema de tracción de 2x25 kV, basado en el SFC, al igual que Zeimiai.
- Nuevo AT₇, para conectar a una sección de vía única y con el mismo alcance que AT₁.
- Instalación de la subestación de tracción de Kretinga que utilizará un sistema de tracción de 2x25 kV, basado en el SFC, al igual que Zeimiai.
- Nuevo AT₈, para conectar a una sección de vía única y con el mismo alcance que AT₁. [1]

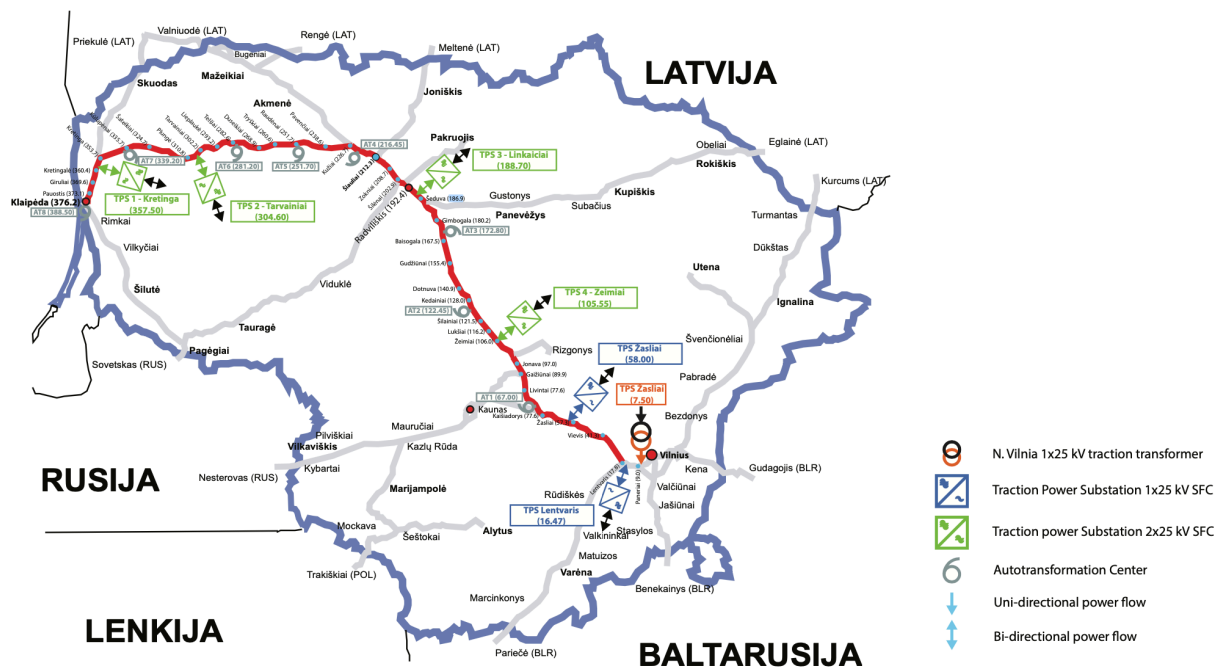


Figura 2: Plano de las subestaciones y centros de transformación de la sección Vilnius - Klaipėda[1]

1.3 MOTIVACIÓN DEL PROYECTO

El alcance de este documento abarca el proceso de procura y logística de los materiales y equipamiento necesarios para la construcción de la subestación de tracción de Lentvaris. Se ha querido desarrollar, monitorizar y optimizar el proceso de toda la cadena de suministro, para poder utilizar este documento como planificación de posibles proyectos futuros y asegurar una correcta trazabilidad de todas las fases que requiere el proyecto.

Con este documento, por tanto, se quiere conseguir una mejora del proceso, disminuyendo el *lead time* y optimizando los beneficios del proyecto en cuestión, asegurando la satisfacción del cliente final.

Por otro lado, el Trabajo de Fin de Máster presente forma parte del proyecto de electrificación de 731 km de vías ferroviarias y 6 subestaciones lo que conllevará a una mejora de las infraestructuras lituanas. Su cliente, LTG-I, estima que la electrificación de la línea ferroviaria permitirá la circulación de más de las tres cuartas partes de la carga de mercancía y dos tercios de los pasajeros del país. [2]

Capítulo 2. ESTADO DE LA CUESTIÓN

2.1 INTRODUCCIÓN

El Doctor J. M. Juran, consultor de gestión del siglo XX, define un proyecto como “un problema cuya solución está programada” [3] y sin embargo el *Informe Chaos* de *The Standish Group*, realizado en 2015, indica una tasa de éxito de un 29 % de los proyectos analizados, cuestionando un 52 % y fracasando un 19 %. Para determinar este factor de éxito los autores del informe han tenido en cuenta aquellos proyectos en los cuales se han respetado los plazos y el presupuesto previsto, obteniendo unos resultados satisfactorios para el cliente final.[4]

	2011	2012	2013	2014	2015
SUCCESSFUL	29%	27%	31%	28%	29%
CHALLENGED	49%	56%	50%	55%	52%
FAILED	22%	17%	19%	17%	19%

Figura 3: Tasa de Éxito de los proyectos analizados por el informe Chaos 2011-2015[4]

La Gestión de Proyectos es la disciplina de utilizar conocimientos, habilidades, herramientas y técnicas para guiar con éxito un proyecto y cumplir con los requisitos establecidos. Para conseguir estos objetivos se deben tener en cuenta 4 variables: tiempo, coste, desempeño y alcance, durante todo el ciclo de vida del proyecto. [5] Una correcta gestión de un proyecto permite maximizar la capacidad operativa de la compañía, coordinar los recursos, reaccionar ante cambios, evitar riesgos y aportar un punto de vista enfocado al cliente.

Existen diferentes estrategias en el ámbito de la Gestión de Proyectos. A continuación se explican brevemente las más utilizadas:

SECUENCIA TRADICIONAL

Esta estrategia consiste en realizar de forma ordenada las distintas fases del proyecto, generando un plan de control en el que se comprueba si se han cumplido los objetivos establecidos. Se trata de una metodología que permite llevar un seguimiento adecuado del proyecto, pero que sin embargo es demasiado rígida ante los cambios y errores que se pueden dar en el transcurso del proyecto.[6]

METODOLOGÍA AGILE

La metodología Agile está basada en soluciones variantes a lo largo del tiempo, llevando un control continuo del proceso y comprobando y modificando los métodos utilizados según su eficacia. Esta metodología está basada en llevar una constante retroalimentación de los resultados obtenidos, adaptándose a los cambios pertinentes y repriorizando las distintas fases del proyecto. Esto supone una actualización constante de la planificación.[7]

GESTIÓN DEL CAMBIO

Esta tendencia se basa fundamentalmente en realizar un análisis de los riesgos y de las medidas correspondientes a aplicar ante los posibles cambios que se pueden dar un proyecto.

METODOLOGÍAS BASADAS EN EL PROCESO

Por otro lado, existen diferentes metodologías, como *Lean Manufacturing*, *Six Sigma*, etc. que enfocan los proyectos como una serie de procesos interconectados, estableciendo cada una de las fases como un conjunto y buscando la simplificación de tareas, la reducción de desperdicios o la disminución de los errores en todo el proceso.

GUÍA PMBOK

Por último, la guía PMBOK significa *Project Management Body of Knowledge* – Cuerpo de conocimientos de la gestión de proyectos y es la herramienta utilizada en este Trabajo Fin de Máster. [6]

2.2 PROJECT MANAGEMENT BODY OF KNOWLEDGE

PMBOK es la estrategia más utilizada en la Gestión de Proyectos, debido a que se trata de un estándar internacional orientado a todo tipo de procesos. La guía PMBOK estudia el ciclo de vida completo de cualquier proyecto, estableciendo los insumos, herramientas y entregables de cada proceso. Además, establece una serie de conocimientos útiles en cualquier industria pero requiere de una ligera adaptación en cada área de aplicación.[8]

La guía PMBOK está formada por 5 grupos de procesos:

INICIO

En la fase de inicio del proceso se establece el valor y la viabilidad del plan estratégico del proyecto. Permite definir el proyecto en su totalidad y su correspondiente autorización en caso de ser viable.[9]

PLANIFICACIÓN

Para llevar a cabo la planificación se necesita establecer la estrategia a implementar y así garantizar el éxito del proyecto. Para ello, es preciso definir los siguientes parámetros:

- Costes: una correcta planificación requiere una estimación de los costes y así obtener el presupuesto total del proyecto a estudiar.
- Alcance: se debe definir las fronteras del proyecto y el conjunto de tareas requeridas para que el proyecto se lleve a cabo.
- Duración: se establecen las líneas de tiempo más probables en el proyecto implantando una serie de objetivos a cumplir en una fecha determinada.
- Calidad: se debe comprobar que los entregables cumplen con los requerimientos establecidos en el proyecto.
- Comunicación: se desarrolla un plan de comunicación entre las partes interesadas en el proyecto para asegurar la fluidez del proceso en su conjunto.
- Riesgos: se realiza una evaluación de los posibles riesgos que se pueden dar en todas las fases del proyecto y sus correspondientes medidas de prevención y contingencia.
- Recursos: se establecen y distribuyen los recursos necesarios para que el proyecto se lleve a cabo en su totalidad.
- Métricas: se determinan una serie de indicadores y medidas para posteriormente poder monitorizar el proyecto.[9]

EJECUCIÓN & MONITORIZACIÓN

Una vez definida y aprobada la planificación, se comienza con la fase de ejecución del proyecto. Esta fase lleva además un control detallado del proceso completo, puesto que el objetivo del PMBOK es monitorizar el progreso del proyecto para así poder comprobar que se avanza acorde a la planificación. Si por el contrario ocurren desviaciones, se implantan medidas correctivas que reestablecen el *planning* instaurado. Si esto no es posible, se realizan pequeñas modificaciones en el plan, siguiendo los resultados obtenidos en la monitorización del proceso.[3]

Además, la realización de informes y las comunicaciones son trabajos primordiales en el proceso de ejecución. Se desarrollan, por tanto, informes de acuerdo con los KPIs establecidos en la fase de planificación y reuniones efectivas para llevar a cabo un seguimiento de las tareas a realizar.[9]

CIERRE

Una vez completados todos los trabajos del proyecto, se pretende establecer una fase de cierre, en el que se revisan todos los aspectos establecidos desde el punto de partida del proyecto.

En la fase de cierre se analizan aquellas partes que han funcionado correctamente o que por el contrario requieren plantearse alternativas de mejora para posibles proyectos futuros. La fase de finalización del proceso supone establecer un análisis del rendimiento del proyecto, en términos de tiempo, coste, calidad y alcance; estudiando los problemas surgidos y analizando si las medidas establecidas permiten cumplir con la planificación. Además, es en este paso cuando se formaliza la aceptación del producto o servicio por parte del cliente final, conociendo si se encuentra satisfecho con los resultados obtenidos.[3]

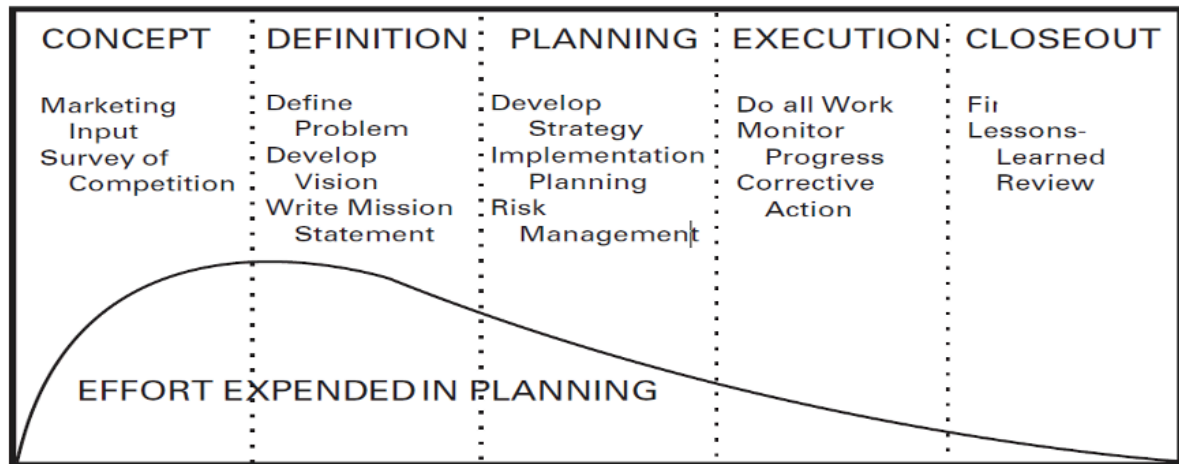


Figura 4: Ciclo de vida de un proyecto[5]

Capítulo 3. PLANIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

3.1 JUSTIFICACIÓN

La Cadena de Suministro es un sistema que incluye todas las etapas dedicadas a completar el pedido de un cliente, incluyendo fabricantes, proveedores, transportistas, almacenes, subcontratistas y clientes. Para establecer una estrategia competitiva en la Cadena de Suministro se necesita determinar la naturaleza de la adquisición y transporte de material en términos de coste, calidad, tiempo y flexibilidad. Estas variables dependen de las distintas prioridades de la compañía en cuestión, pero el diseño de la cadena y la correcta definición de cada una de sus etapas deben estar alineados para poder cumplir con la estrategia planteada. [10] Debido a la complejidad de los procesos que conlleva la gestión de la Cadena de Suministro necesaria en un proyecto, se debe llevar a cabo una correcta planificación y seguimiento a través de la aplicación de técnicas de la Gestión de Proyectos.

Este documento está basado en las diferentes herramientas de la Gestión de Proyectos de la guía PMBOK, ya que utilizar estas técnicas en la Electrificación Ferroviaria de la sección Vilnius-Klaipėda y, en concreto, en la cadena de suministro del material necesario para la construcción de la subestación de Lentvaris, nos permite llevar un control adecuado de todo el proceso y poder cumplir con los objetivos propuestos durante la planificación.

3.2 OBJETIVOS

El proyecto abarca los siguientes objetivos:

1. Estudio y definición del diseño de la subestación de Lentvaris, extrayendo los suministros necesarios para su correcta construcción.
2. Estudio de la Cadena de Suministro integral del equipamiento y material para la electrificación de la subestación de Lentvaris, desde el proceso de ingeniería de cada equipo a la construcción de la subestación.
3. Planificación del proyecto. Conocidas las fechas de construcción, y por tanto, la fecha de llegada de cada uno de los materiales y equipamiento necesarios para la

subestación se pretende realizar una estrategia *Pull* en la que, una vez estimado el tiempo de fabricación, transporte y procesos internos, se obtiene la fecha de llegada de Paquetes Técnicos necesaria para tener a disposición todo el material. Además se realiza un estudio de prioridades y caminos críticos en la planificación para establecer una gestión adecuada de los recursos y conseguir el cumplimiento de los objetivos en las fechas planificadas.

4. Análisis del proceso en su conjunto, estudio de los posibles riesgos del proyecto y aplicación de medidas de contingencia y sus correspondientes riesgos residuales.
5. Optimización del proceso completo, analizando los tiempos de cada fase del Proceso de Compra y Logística y planteamiento de las posibles alternativas de mejora.

3.3 RECURSOS A EMPLEAR

Los recursos utilizados en este Trabajo de Fin de Máster han sido la formación propia adquirida en la empresa durante el periodo de prácticas del autor. Además el contacto directo con todos los proveedores, transitarios y con el Departamento de Ingeniería y Construcción ha permitido realizar un seguimiento adecuado de toda la Cadena de Suministro, pudiendo analizar aquellos aspectos que no cumplen con los requerimientos establecidos en la planificación. Por otro lado, se han utilizado las herramientas de ofimática de MS Project, Microsoft Excel y Brickcontrol, que han servido como soporte en la gestión del proyecto.

3.4 METODOLOGÍA DE TRABAJO

Para llevar a cabo el proyecto, durante enero y febrero se ha recibido una formación en la empresa y, en concreto, en el Departamento de Compras y Logística. Además se ha realizado un estudio del diseño de la instalación industrial de la subestación.

Durante el mes de marzo se ha efectuado un análisis de la planificación del proyecto, atendiendo a las fechas propuestas por construcción. Por otro lado, en abril se ha realizado un estudio de cada una de las fases del proceso de la Cadena de Suministro, para poder recorrer el proyecto “aguas arriba” hasta obtener las fechas óptimas de llegada de los Paquetes Técnicos.

El estudio detallado del Plan de Compras se ha realizado durante los meses de abril y mayo mientras que el Plan de Logística se ha desarrollado en junio, junto con una posible optimización de los procesos planteados hasta la fecha.

Durante todo el proyecto, se lleva a cabo un seguimiento de cada una de las fases a través de una serie de indicadores o KPIs, comprobándose en todo momento el cumplimiento de los objetivos marcados y pudiendo implementar un proceso de mejora continua que ayude a mejorar la eficiencia del proceso.

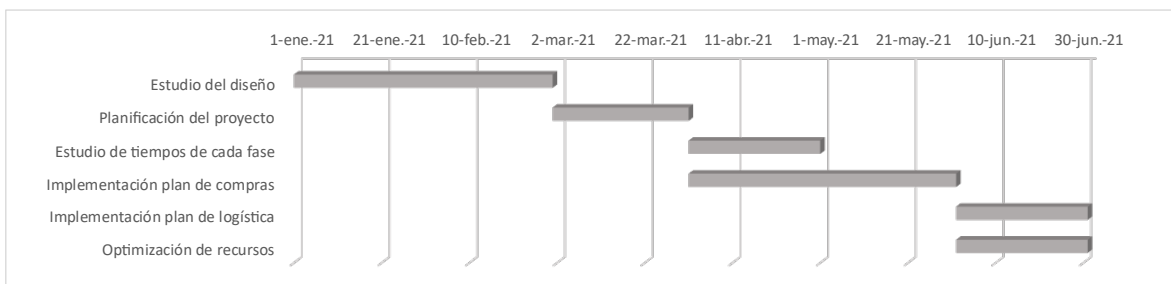


Figura 5: Diagrama de Gantt del Trabajo Fin de Máster

Capítulo 4. DISEÑO DE LA SUBESTACIÓN DE LENTVARIS

4.1 DEFINICIÓN Y COMPONENTES DE UNA SUBESTACIÓN

Una subestación es un sistema constituido por elementos eléctricos para poder enlazar diferentes líneas en el mismo nivel de tensión y transformar la energía eléctrica de unos niveles de tensión a otros, reduciendo o elevando la tensión [11]. Entre los elementos eléctricos cabría destacar:

TRANSFORMADORES DE POTENCIA

Los transformadores de potencia son los elementos principales de una subestación puesto que son utilizados para concentrar la transformación de energía en media y alta tensión. [12] Estos transformadores pueden ser de tipo seco o en aceite. Las principales diferencias entre ambos tipos es que un transformador seco se utiliza en interiores, ya que su instalación no requiere de un espacio muy amplio; además, no demandan un mantenimiento continuo, lo que supone una extensión de su vida útil. Sin embargo, las principales ventajas de un transformador de baño en aceite son que su instalación se puede realizar en exteriores, además de tener un menor impacto contra el ruido de la subestación. [13]

SECCIONADORES

El objetivo de esta aparatamenta es aislar diferentes tramos del circuito. El seccionador debe maniobrar en vacío y por lo tanto, los circuitos que debe interrumpir deben hallarse libres de corriente. Estos aparatos permiten que los tramos del circuito aislados se encuentren libres de tensión pudiéndose manipular y garantizando siempre la seguridad del operario.

INTERRUPTORES

Los interruptores son equipos de desconexión cuyo objetivo es asegurar la “puesta en servicio” o “puesta fuera de servicio” de un circuito eléctrico y que, simultáneamente, garantizan la protección de la instalación contra los efectos de las corrientes de cortocircuitos (defectos en tierra, cortocircuitos entre fases, etc.) ya que son capaces de cortar la intensidad máxima de corriente de cortocircuito susceptible de originarse en dicho lugar.

TRANSFORMADORES DE INTENSIDAD

Este tipo de transformadores alimentan a diferentes instrumentos de medida, contadores, relés y otros dispositivos análogos. La intensidad secundaria es prácticamente proporcional a la primaria y desfasada un ángulo próximo a cero.

Tienen como función principal reducir las características de tensión e intensidad de una red eléctrica a valores no peligrosos y normalizados, evitando la conexión directa de estos instrumentos con los circuitos de alta tensión.

Entre los transformadores de intensidad diferenciamos entre transformadores de medida, destinados alimentar aparatos de medidas, contadores etc. y transformadores de protección ya que alimentan a relés de protección.

TRANSFORMADORES DE TENSIÓN

Los transformadores de tensión alimentan a diferentes instrumentos de medida, contadores, relés y otros dispositivos análogos en los que la tensión secundaria es prácticamente proporcional a la primaria y desfasada un ángulo próximo a cero.

En los transformadores de tensión para la medida, los bornes entre los cuales se desea medir la tensión se conectan al primario del transformador, mientras que el secundario se conecta a los dispositivos de medida.

Además, otro tipo de transformadores de tensión serían los destinados a alimentar relés de protección.

AUTOVÁLVULAS

Las autoválvulas se utilizan para absorber sobretensiones de alta frecuencia debido a descargas atmosféricas o maniobras y así evitar su descarga sobre los aisladores, perforando el aislamiento y ocasionando interrupciones y desperfectos en transformadores.

Aquellos elementos eléctricos que comparten un mismo nivel de tensión y están interconectados para realizar la maniobra y protección de cada uno de los circuitos forman lo denominado “posición” de la subestación. Las diferentes posiciones de un mismo nivel de tensión se conectan entre sí mediante “barras” o embarrados. [11]

En concreto, una subestación de tracción tiene como objetivo abastecer de energía eléctrica a la catenaria de una línea ferroviaria.[14] El equipamiento de la subestación está encargado de convertir la energía eléctrica de la red a unas condiciones de tensión, corriente

y frecuencia adecuadas para su uso en medios de transporte. Este proceso incluye la conversión de un sistema trifásico a frecuencia industrial a un sistema de una única fase en corriente alterna.[15]

4.2 DESCRIPCIÓN DEL DISEÑO DE LA SUBESTACIÓN DE LENTVARIS

4.2.1 INTRODUCCIÓN

La actual subestación de Lentvaris necesita de una fase preliminar de demolición, ya que contiene una serie de estructuras, edificios y equipos que ya no sirven en el nuevo diseño.

La nueva subestación de Lentvaris se construye por tanto en el mismo emplazamiento que la actual, demoliendo por completo la existente. A pesar de esto, se prevén estrategias de ahorro de tiempo, como la reutilización del suelo de la subestación. La superficie de la nueva subestación de tracción de Lentvaris es de aproximadamente 100x70 m². [16]

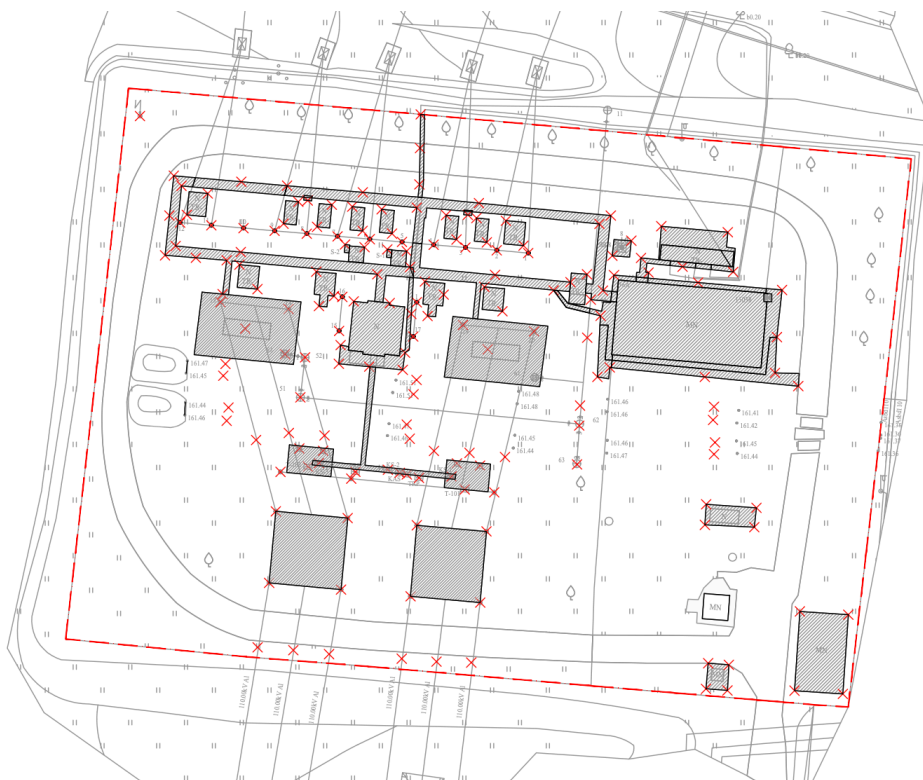


Figura 6: Plano de desmontaje del actual equipamiento de la subestación de Lentvaris[17]

A continuación, se realiza un análisis en detalle de las partes más importantes de la subestación de tracción. De esta forma se permite extraer el equipamiento eléctrico necesario para su correcta instalación. Esta apartamentación se incluye en el Plan de Compras para llevar a cabo la Cadena de Suministro de Lentvaris.

4.2.2 POSICIÓN DE LÍNEAS DE ALIMENTACIÓN

La subestación de tracción se alimenta de dos líneas eléctricas de alta tensión diferentes:

- L3-Vilnius - tensión de 110 kV.
- VE3 - tensión de 110 kV.

Cada una de estas dos líneas se conectan respectivamente a las dos barras principales a través de dos seccionadores, permitiendo el aislamiento eléctrico de la apartamentación dispuesta entre el circuito y barras; autoválvulas; y transformadores de intensidad de medida.

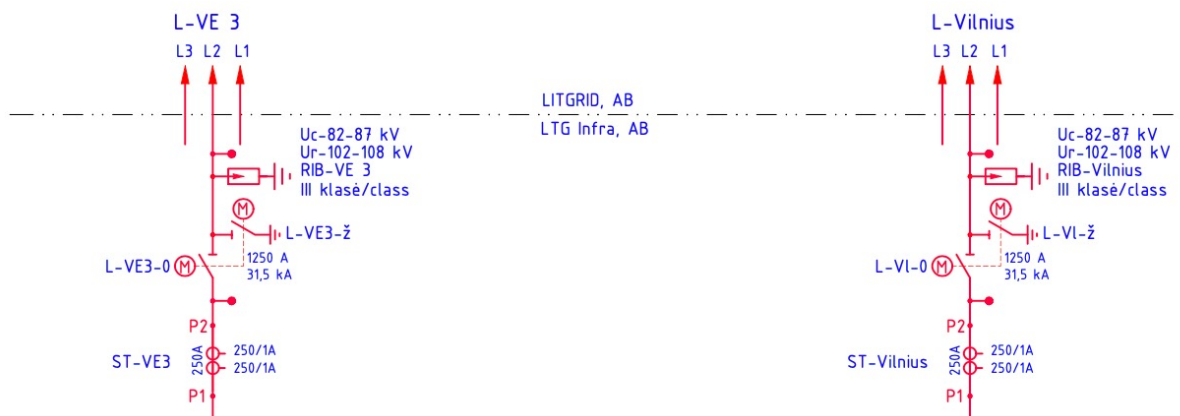


Figura 7: Detalle del diagrama unifilar de 110 kV de la subestación[18]

<i>Aparellaje necesario</i>	<i>Nº de equipos (Uds.)</i>	<i>Identificación en el plano</i>
Seccionadores de 110 kV	2	L-VE3-0; L-VI-0
Autoválvulas de 110 kV	6	RIB-VE 3; RIB-Vilnius
Transformadores de intensidad de 110 kV	6	ST-VE3; ST-Vilnius

Tabla 1: Aparamenta de la posición de líneas de alimentación[18]

4.2.3 EMBARRADOS DE 110 KV

Estos dos embarrados principales se unen a su vez a través de dos seccionadores con cuchillas de puesta a tierra. A las barras, además, se conectan tres sistemas de alimentación:

- Barra nº 1: conexión del transformador de 110 kV/27,5 kV dirigido a la línea DLB₁.
- Barra nº 2: sistema de tracción dirigido al SFC y conexión del transformador de 110 kV/27,5 kV dirigido a la línea DLB₂.

Las líneas DLB son anillos de distribución de potencia en media tensión a consumidores en vía, que se distribuyen empleando dos conductores y el rail como tercera fase (en lituano, DLB - *du laidai-bėgis*).[16]

Además, las dos barras principales están equipadas con transformadores de tensión de protección y de medida.

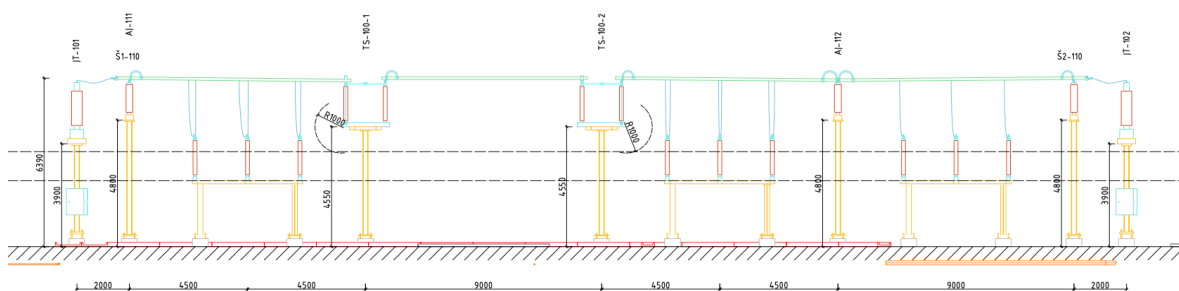


Figura 8: Detalle de la posición de barras de 110 kV[19]

<i>Aparellaje necesario</i>	<i>Nº de equipos (Uds.)</i>	<i>Identificación en el plano</i>
Seccionador de 110 kV	2	TS-100-1; TS-100-2
Transformadores de tensión de 110 kV	6	IT-101; IT-102

Tabla 2: Aparata de la posición de barras de 110 kV[19]

4.2.4 POSICIÓN DE TRANSFORMADORES DE LÍNEAS DLB

La conexión de cada uno de los dos transformadores de las líneas DLB consta de un seccionador con cuchillas de puesta a tierra, un interruptor, transformadores de intensidad a efectos de protección y medida, y finalmente autoválvulas para la protección contra las sobretensiones del transformador DLB.

Los transformadores DLB son transformadores de potencia de 4 MVA, grupo de conexión YNd11, tensión primaria de 110 kV y tensión secundaria de 27,5 kV para las líneas DLB. Una particularidad de estos transformadores de potencia es que una de las fases de los devanados secundarios está conectada permanentemente a tierra, para replicar la actual configuración de las líneas DLB existentes. El dimensionamiento de este transformador se ha realizado en función de las cargas existentes en las líneas DLB y de las necesidades propias de la subestación de Lentvaris, ya que se aprovechan para alimentar los servicios auxiliares de la subestación. [16]

Los transformadores además deben estar coordinados en fase con los ubicados en las subestaciones colindantes, para permitir así una correcta compatibilidad entre las distintas subestaciones.

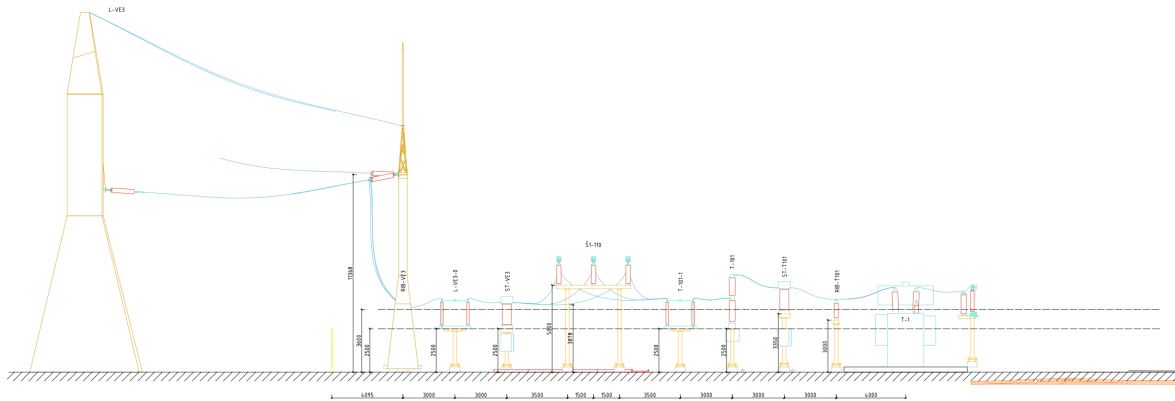


Figura 9: Detalle de la sección de línea L-VE3 junto con la posición del transformador T-1[20]

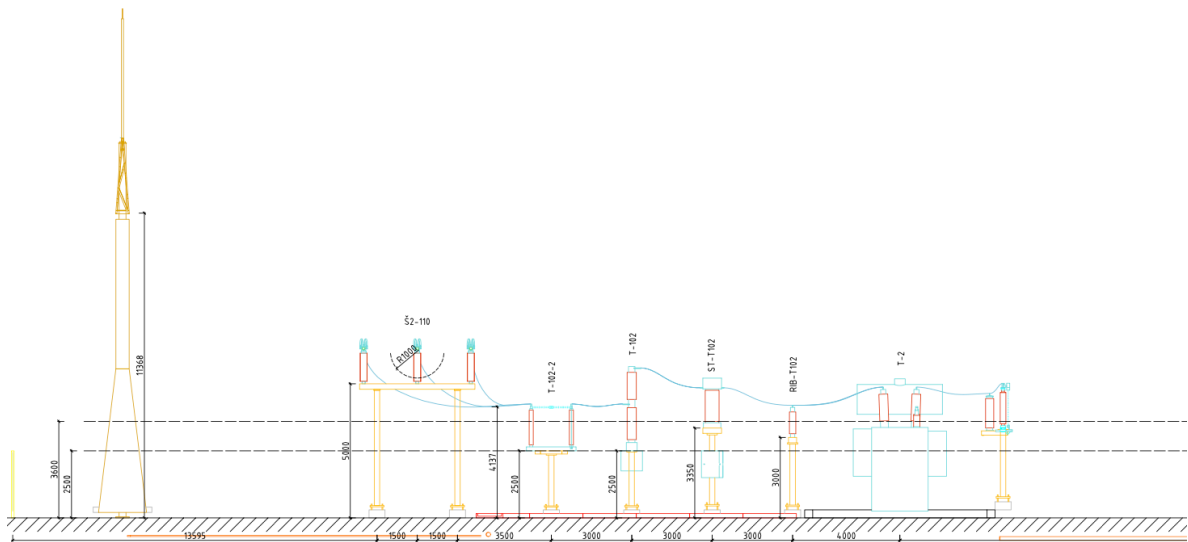


Figura 10: Detalle de la posición del transformador T-2[21]

<i>Aparellaje necesario</i>	<i>Nº de equipos (Uds.)</i>	<i>Identificación en el plano</i>
Seccionador de 110 kV	2	T-101-1; T-102-2
Interruptor de 110 kV	2	T-101; T-102
Transformadores de intensidad de 110 kV	6	ST-101; ST-102
Autoválvulas de 110 kV	6	RIB-T101; RIB-T102
Transformadores de potencia (110 kV/27,5 kV)	2	T-1; T-2

Tabla 3: Aparamenta de la posición de transformador hacia la DLB[20][21]

Se han previsto diez celdas aisladas en gas (SF₆) para el control y maniobra del sistema DLB. Cada una de las celdas contiene dispositivos de control y protección para las cargas alimentadas por los transformadores DLB y dos celdas de acoplamiento, de modo que las cargas DLB pueden alimentarse indistintamente desde cada uno de los dos transformadores.

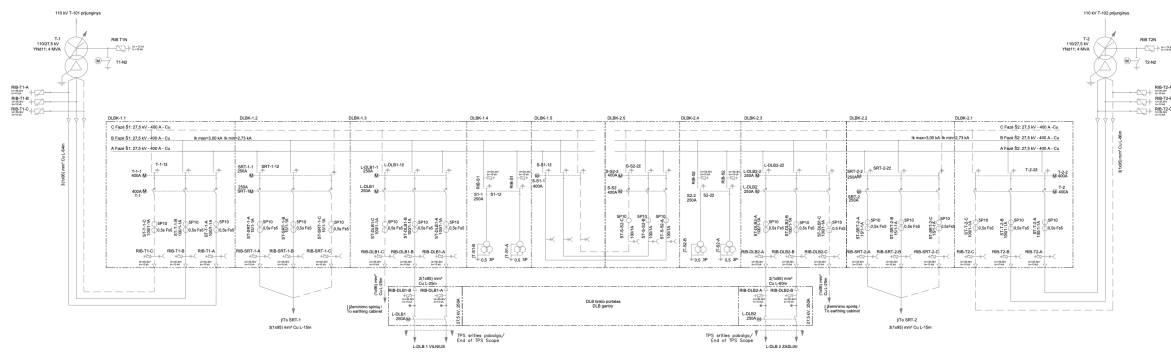


Figura 11: Diagrama unifilar del parque de 27,5 kV hacia la DLB[22]

4.2.5 SISTEMA DE TRACCIÓN

La solución técnica para el proyecto de la subestación de Lentvaris está basada en un Convertidor Estático de Frecuencia (*Static Frequency Converter – SFC*) para alimentar el sistema de tracción, convirtiendo la energía trifásica de la red de distribución en energía de tracción monofásica, por medio de la electrónica de potencia.[16]

El sistema de tracción dispone de un seccionador con cuchillas de puesta a tierra, un interruptor automático, transformadores de tensión e intensidad equipados para las funciones de protección y medida, y autoválvulas. Tras esta aparamenta, se instala el convertidor.

El módulo del SFC conecta la red de distribución trifásica de 50 Hz con la red ferroviaria monofásica de 50 Hz, permitiendo la transferencia de energía entre las redes en ambos sentidos. Además, lleva un control independiente de la potencia reactiva en ambas redes, ofreciendo una gran flexibilidad para adaptarse tanto a las condiciones de la red de distribución trifásica como de la red de tracción monofásica.

El convertidor estático de frecuencia esta formado por:

- Un filtro trifásico, para la mitigación de los armónicos de tensión generados por el SFC en el punto de conexión.
- Transformador trifásico específico para el SFC. Tiene una relación de transformación de 110kV/3,44kV con un tipo de conexión Yy0d11.
- Rectificador, para convertir la tensión alterna a continua.
- Filtro CC.
- Inversor, para convertir la tensión continua a alterna.
- Transformador monofásico. Este transformador monofásico es específico para la unidad SFC. Tiene una relación de transformación de 4x3,044/25 kV con un tipo de conexión i0i0i0-I.
- Filtro monofásico, propuesto para la mitigación de armónicos en el sistema ferroviario.[23]

Se trata de un convertidor electrónico con un funcionamiento 3CA / CC / 1CA, permitiendo garantizar una potencia fiable y un bajo nivel de armónicos.

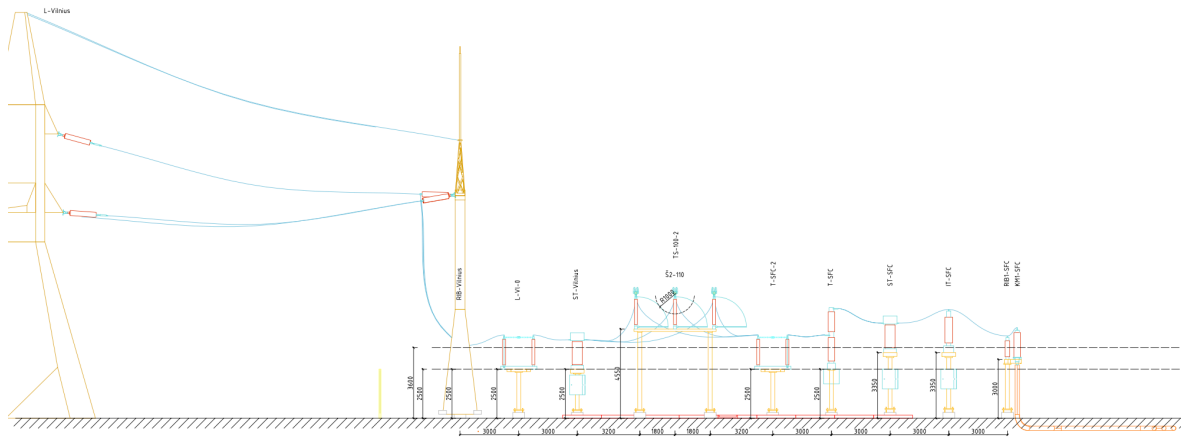


Figura 12: Detalle de la línea L-Vilnius junto con la posición del SFC[24]

<i>Aparellaje necesario</i>	<i>Nº de equipos (Uds.)</i>	<i>Identificación en el plano</i>
Seccionador de 110 kV	1	T-SFC-2
Interruptor de 110 kV	1	T-SFC
Transformadores de intensidad de 110 kV	3	ST-SFC
Transformadores de tensión de 110 kV	3	IT-SFC
Autoválvulas de 110 kV	6	RIB1-SFC; RIB2-SFC

Tabla 4: Aparamenta de la posición del SFC[24]

Debido a la instalación de un cable subterráneo, se hacen necesarias seis autoválvulas en lugar de tres, como es el caso de la posición de transformadores de líneas DLB.

Además, se necesitan 7 celdas aisladas en gas SF₆ para el control del sistema de tracción de 27,5 kV conectado al SFC. Cada una de las celdas dispone de dispositivos de control y protección.

25 kV Catenary system scheme

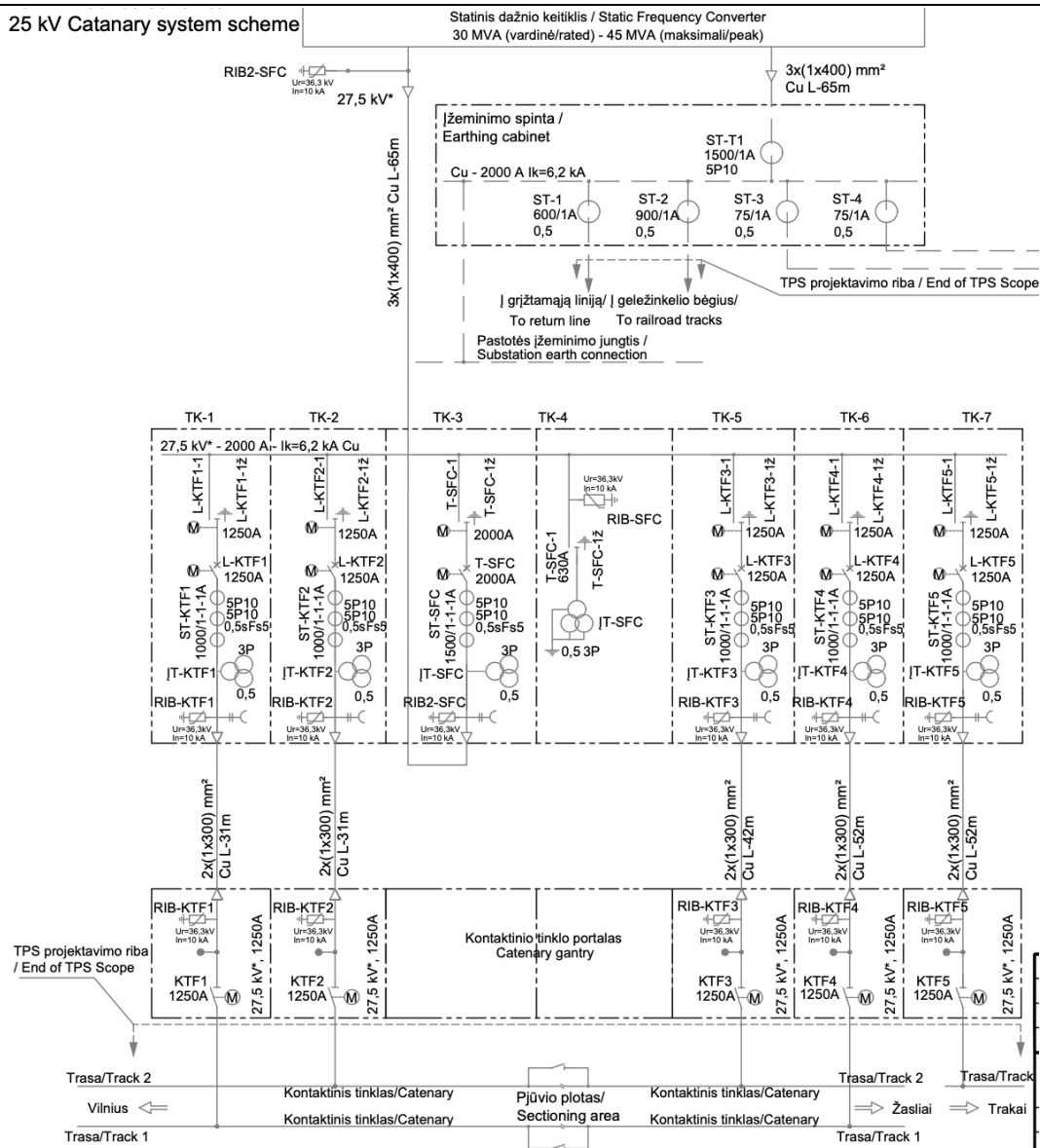


Figura 13: Diagrama unifilar del parque de 27,5 kV hacia el sistema de tracción[25]

En el diagrama unifilar de la Figura 14 se puede observar el Parque completo de 110 kV, en el que se distinguen:

- Dos posiciones de líneas de alimentación, L-VE3 y L-Vilnius
- Dos embarrados de 110 kV
- Dos posiciones de los transformadores de líneas DLB
- Posición del Convertidor Estático de Frecuencia, para el sistema de tracción

Los elementos mencionados en la Tabla 1, Tabla 2, Tabla 3 y Tabla 4 se pueden observar en el plano:

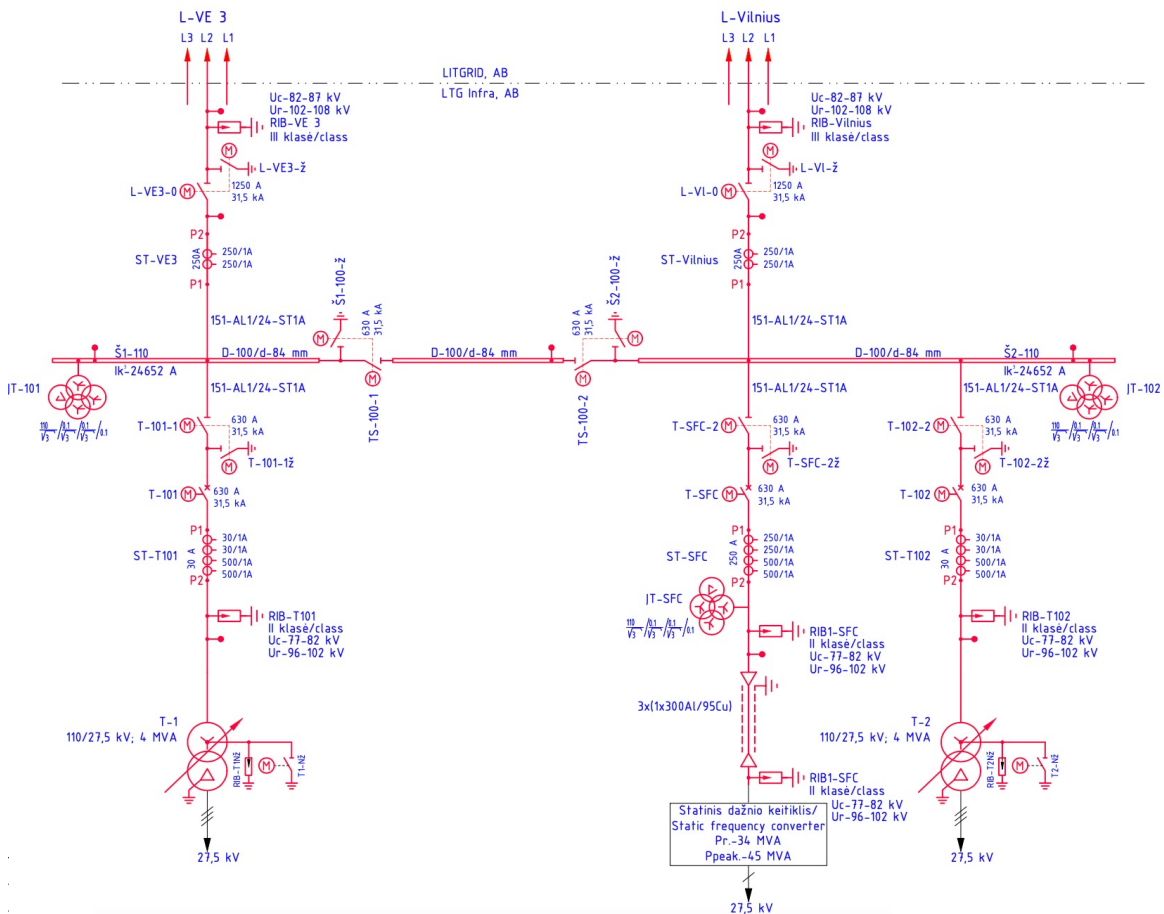


Figura 14: Diagrama unifilar del parque de 110 kV de la subestación de Lentvaris[18]

4.2.6 CONEXIONES DE LÍNEAS AB DE 10 kV

Las líneas AB son tres líneas de distribución de energía para servicios locales en vía, que se alimentan desde el cuadro de baja tensión, a través de transformadores 0,4/10 kV y un conjunto de cabinas para control y protección.[16]

Estas celdas están divididas en tres conjuntos independientes, cada uno de ellos aislados en SF₆ y alimentados de transformadores de 0,4/10 kV y 63 kVA, conectados al cuadro principal de distribución de corriente alterna de la subestación.

Las celdas están equipadas con seccionadores, interruptores, autoválvulas y transformadores de tensión para el control de las cargas de 10 kV. Se han previsto

nueve celdas - tres juegos de tres, cada uno de los cuales contiene dispositivos de control y protección.

Los transformadores de tipo AB de esta subestación están coordinados en fase con los situados en las subestaciones colaterales, para conseguir la correcta compatibilidad entre subestaciones vecinas.

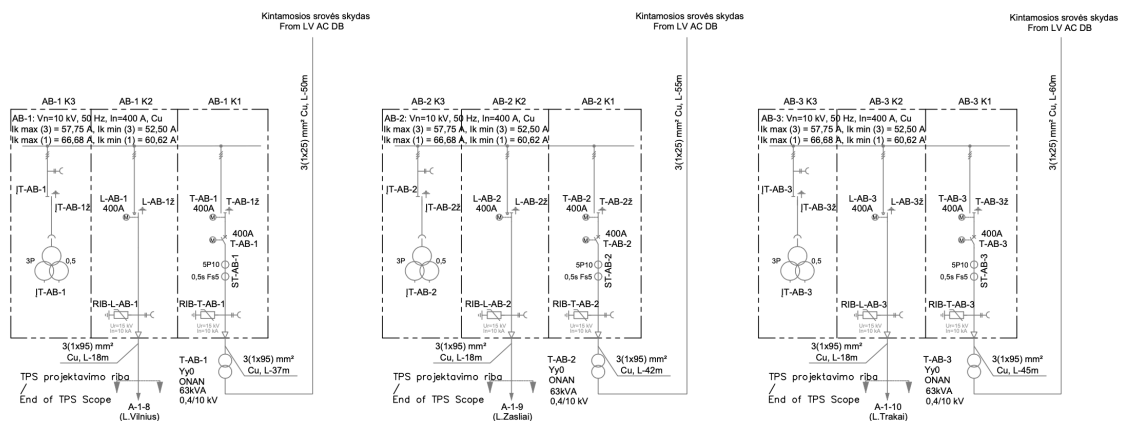


Figura 15: Diagrama unifilar del parque de 10 kV hacia las líneas AB[26]

Aparellaje necesario	Nº de equipos (Uds.)	Identificación en el plano
Transformadores de potencia (0,4 kV/10 kV)	3	T-AB-1; T-AB-2; T-AB-3
Autoválvulas de 10 kV	9	RIB-T-AB-1; RIB-T-AB-2; RIB-T-AB-3

Tabla 5: Aparamenta de la posición de líneas AB[26]

4.2.7 PARQUE EXTERIOR DE 27,5 KV

El parque de 27,5 KV abarca los dos transformadores de potencia DLB de 110/27,5 kV que alimentan a las líneas de la DLB, a diferentes servicios auxiliares de la subestación, y a las cargas de las líneas AB a través de los transformadores de potencia de 0,4/10 kV.

Desde cada transformador de potencia de 110 kV/27,5 kV se tienden cables enterrados en Media Tensión hasta llegar al edificio de control. Entre los transformadores y las botellas del cableado, se instalan seccionadores y autoválvulas, además de aisladores para fijación de los embarrados.

<i>Aparellaje necesario</i>	<i>Nº de equipos (Uds.)</i>	<i>Identificación en el plano</i>
Seccionador de 27,5 kV – DLB	2	L-DLB 1; L-DLB 2
Autoválvulas de 27,5 kV – DLB	6	RIB-T1; RIB-T2

Tabla 6: Aparamenta del parque exterior de 27,5 kV[18]

4.2.8 EDIFICIO DE CONTROL

El edificio de control alberga todos los servicios necesarios para un correcto funcionamiento de la Subestación Eléctrica de Tracción, garantizando la seguridad de la subestación en todo momento. [16] Está compuesto por las siguientes áreas:

- Salas de media y baja tensión.
- Sala de control, que debe contener, entre otros, los siguientes elementos:
 - o Cuadros de seguridad y protección contra incendios.
 - o Cuadros de distribución de CA y CC.
 - o Armarios de telecomunicaciones y SCADA.
 - o Armarios de medición.
 - o Conjuntos de cargadores de baterías.
- Punto de Operación Local para operación de catenaria.
- Sala del sistema de extinción de incendios.
- Almacén.
- Vestuario.
- Sala de trabajo temporal.

En el edificio de control se ubican dos transformadores de potencia de 27,5/0,4 kV para servicios auxiliares (en lituano, SRT - *Savujų Reikmių Transformatorius*).

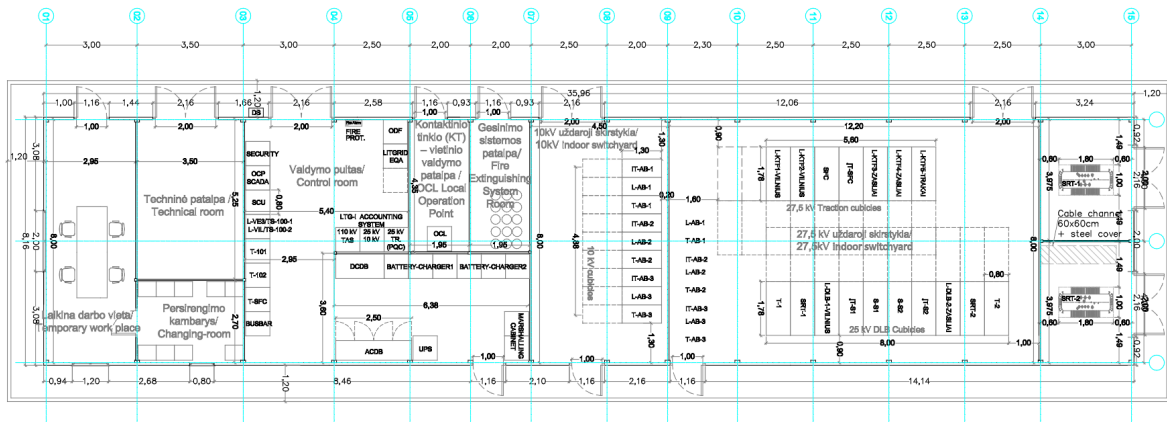


Figura 16: Plano del edificio de control de la subestación[16]

Dentro de las salas de Media-Baja Tensión se prevé la instalación de las celdas de distribución en media tensión mencionadas anteriormente, y divididas según el nivel de tensión:

- Sala de 27,5 kV:
 - Siete celdas de tracción.
 - Diez celdas de DLB.
- Sala de 10 kV:
 - Nueve celdas de 10 kV.

<i>Aparellaje necesario</i>	<i>Nº de equipos (Uds.)</i>	<i>Identificación en el plano</i>
Transformador de potencia (27,5 kV/0,4 kV)	2	SRT-1; SRT-2
Celdas GIS de tracción de 27,5 kV	7	L-KTF1-VILNIUS; L-KTF2-VILNIUS; SFC; IT-SFC; L-KTF3-ZASLIAI; L-KTF4-ZASLIAI; L-KTF5-TRAKAI
Celdas GIS de 27,5 kV – DLB	10	T-1; SRT-1; L-DLB1-VILNIUS; IT-S1; S-S1; S-S2; IT-S2. L-DLB2-ZASLIAI; SRT-2; T-2
Celdas GIS de 10 kV – AB	9	IT-AB-1; L-AB-1; T-AB-1. IT-AB-2; L-AB-2; T-AB-2. IT-AB-3; L-AB-3; T-AB-3;

Tabla 7: Aparamenta del interior del edificio de control[22][25][26]

4.2.9 ZONA DE SALIDA A CATENARIA

Tras el edificio de control, se disponen las estructuras de salida a catenaria y a las líneas DLB aéreas, Además del armario de retornos de vía, en el que se encuentran cinco transformadores de intensidad para la protección y medida.

Estas estructuras sirven de soporte a la aparamenta de salida de la subestación. Dos de ellas soportan la aparamenta de las líneas DLB, y tres de ellas las de salidas a catenaria. Cada una de las estructuras está equipada con aisladores, autoválvulas y seccionador.

<i>Aparellaje necesario</i>	<i>Nº de equipos (Uds.)</i>	<i>Identificación en el plano</i>
Seccionadores	5	L-DLB 1; L-DLB 2. L-KTF 1&2; L-KTF 3; L-KTF 4&5
Autoválvulas	10	RIB-DLB 1; RIB-DLB 2; RIB-KTF 1&2; RIB-KTF 3; RIB-KTF 4&5

Tabla 8: Aparamenta de salida a catenaria[25]

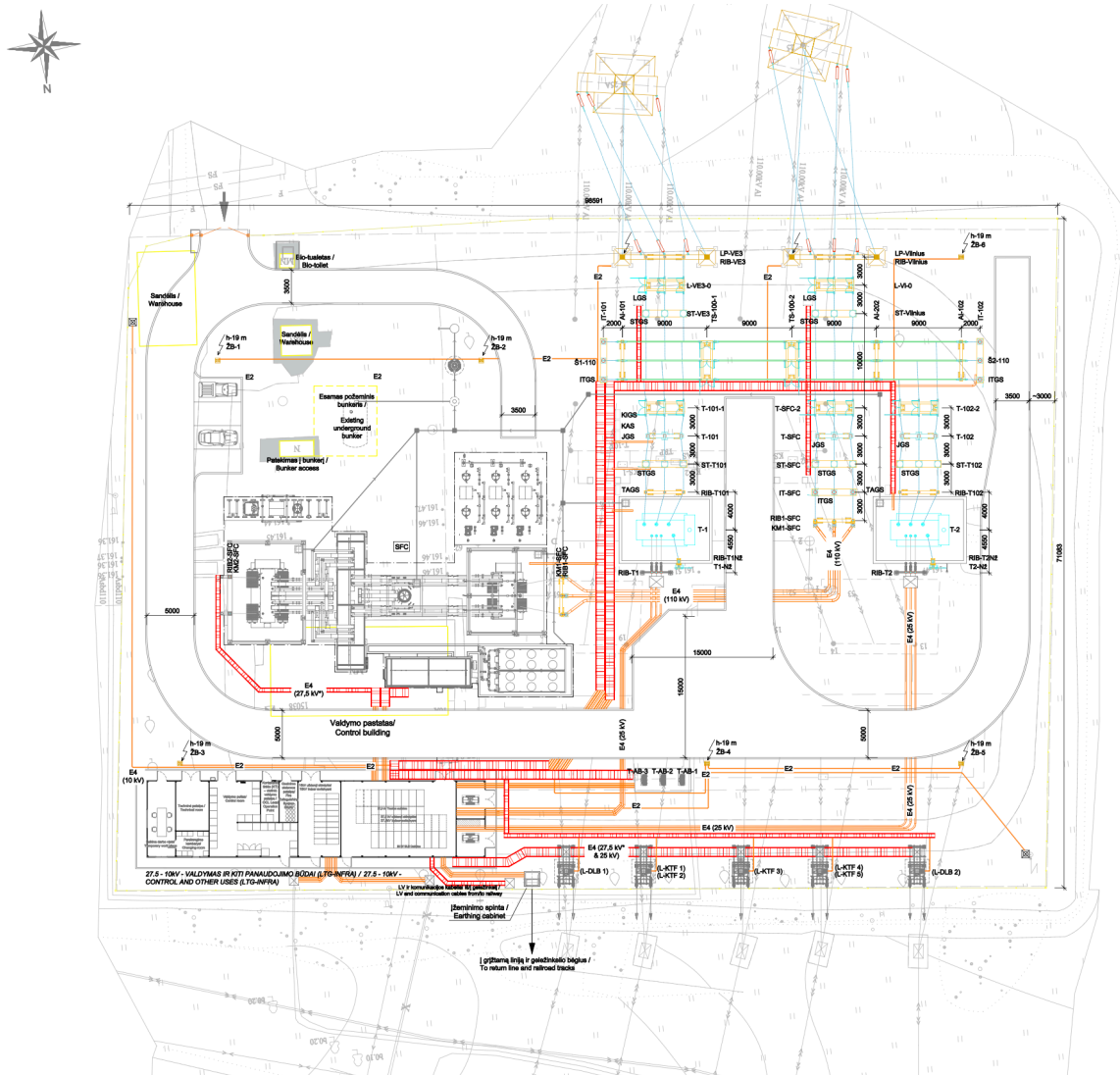


Figura 17: Planta de la subestación de Lentvaris[27]

Capítulo 5. PLANIFICACIÓN DE LA SUBESTACIÓN DE LENTVARIS

5.1 INTRODUCCIÓN

El objetivo principal de este capítulo es ejecutar un estudio del modelo de gestión de la Cadena de Suministro de una subestación de tracción. Para llevar a cabo el desarrollo y ejecución del Plan de Compras y Logística de Lentvaris se han establecido las siguientes fases en la gestión del proyecto:

1. Establecimiento del Plan de Compras del equipamiento y material de la subestación
2. Análisis según los objetivos e hitos de construcción de la subestación
3. Análisis del Proceso de Compras de los suministros de la subestación
4. Análisis del Proceso de Logística de los suministros de la subestación
5. Estudio de tiempos de la cadena de suministro total
6. Estudio de costes del proyecto
7. Planificación de los riesgos del proyecto

5.2 PLAN DE COMPRAS

Una vez analizado el funcionamiento de la subestación, junto con la aparamenta eléctrica necesaria para garantizar su correcto funcionamiento, se han extraído el número de unidades de los equipos de la subestación en la Tabla 9:

<i>Ítem</i>	<i>Equipamiento</i>	<i>Nº de equipos (Uds.)</i>
<i>TPS_1</i>	Convertidores Estáticos de Frecuencia (SFC)	1
<i>TPS_3.1</i>	Interruptores de 110 kV	3
<i>TPS_3.2</i>	Combinado de interruptores y DSB de 27,5 kV	3
<i>TPS_4.1</i>	Seccionadores de 110 kV	7
<i>TPS_4.2</i>	Seccionadores de 27,5 kV - DLB	2
<i>TPS_5.1</i>	Transformadores de medida de 110 kV	9 (VT) + 15 (CT)
<i>TPS_5.2</i>	Transformadores de medida de 27,5 kV	5 (CT)
<i>TPS_5.3</i>	Armario de retorno de vía	1
<i>TPS_6.1</i>	Autoválvulas de 110 kV	18
<i>TPS_6.2</i>	Autoválvulas de 27,5 kV	16
<i>TPS_7.1</i>	Transformadores de potencia de 110 / 27,5kV (DLB)	2
<i>TPS_7.2</i>	Transformadores de potencia de 27,5 / 0,4kV (SRT)	2
<i>TPS_7.3</i>	Transformadores de potencia de 0,4/ 10kV (AB)	3
<i>TPS_9.1</i>	Celdas de tracción GIS (55 / 27,5 kV)	7
<i>TPS_9.2</i>	Celdas GIS – DLB (27,5 kV)	10
<i>TPS_10</i>	Celdas GIS – AB (10 kV)	9
<i>TPS_11.1</i>	Seccionador catenaria-feeder de 55 / 27,5 kV	5
<i>TPS_12</i>	Sistema de protección y control	1

Tabla 9: BoQ del equipamiento eléctrico de la subestación de Lentvaris

Por otro lado, en la Tabla 10 se muestra el tipo de cableado y accesorios necesarios en la subestación:

<i>Ítem</i>	<i>Equipamiento</i>
<i>TPS_13</i>	Servicios auxiliares de los transformadores
<i>TPS_14</i>	Rectificadores, baterías y UPS
<i>TPS_15</i>	Cuadros eléctricos
<i>TPS_16</i>	Cables aéreos y soportes (embarrados)
<i>TPS_17.1</i>	Cables de media tensión
<i>TPS_17.2</i>	Cables de baja tensión
<i>TPS_18</i>	Fibra óptica
<i>TPS_19</i>	Terminaciones de los cables
<i>TPS_20</i>	Accesorios, aisladores y piezas de conexión

Tabla 10: BoQ del cableado y otros accesorios de la subestación

Y finalmente para la parte de obra civil se necesitaría:

<i>Ítem</i>	<i>Equipamiento</i>
<i>TPS_21</i>	Edificio prefabricado
<i>TPS_22 & 23</i>	Estructuras metálicas y pernos de anclaje
<i>TPS_25</i>	Pararrayos y puntas Franklin
<i>TPS_26</i>	Material de obra civil (tuberías, drenaje, etc.)
<i>TPS_27</i>	Material de la red de tierra
<i>TPS_28</i>	Tornillos, pernos, etc.
<i>TPS_29</i>	Otros materiales

Tabla 11: BoQ del material de Obra Civil de la subestación

A continuación se muestra el Plan de Compras de todo el equipamiento necesario para la obra civil e instalación eléctrica realizada por el departamento de Construcción de la subestación. Se debe establecer un plan estratégico de todo el material de la subestación, para que cada uno los ítems del Plan de Compras lleguen “justo a tiempo” a los hitos

constructivos, estableciendo una Cadena de Suministro correctamente planificada. La tabla de los diferentes suministros sería la siguiente:

<i>Ítem</i>	<i>Equipamiento</i>
TPS_1	Convertidores estáticos de frecuencia
TPS_3.1	Interruptores de 110 kV
TPS_3.2	Combinado de interruptores y DSB de 27,5 kV
TPS_4.1	Seccionadores de 110 kV
TPS_4.2	Seccionadores de 27,5 kV
TPS_5.1	Transformadores de medida de 110 KV
TPS_5.2	Transformadores de medida de 27,5 KV
TPS_5.3	Armario de retorno de vía
TPS_6.1	Autoválvulas de 110 KV
TPS_6.2	Autoválvulas de 55 / 10 kV
TPS_7.1	Transformadores de potencia de 110 / 27,5kV (DLB)
TPS_7.2	Transformadores de potencia de 27,5 / 0,4kV (SRT)
TPS_7.3	Transformadores de potencia de 0,4/ 10kV (T)
TPS_9.1	Celdas de tracción GIS (55 / 27,5 kV)
TPS_9.2	Celdas DLB GIS (27,5 kV)
TPS_10	Celdas AB GIS (10 kV)
TPS_11.1	Seccionador catenaria-feeder de 55 / 27,5 kV (single phase)
TPS_12	Sistema de protección y control
TPS_13	Servicios auxiliares de los transformadores
TPS_14	Rectificadores, baterías y UPS
TPS_15	Cuadro eléctrico AC, DC
TPS_16	Cables aéreos y soportes(busbars)
TPS_17.1	Cables de media tensión
TPS_17.2	Cables de baja tensión
TPS_18	Fibra óptica

TPS_19	Terminaciones de los cables
TPS_20	Accesorios, aisladores y piezas de conexión
TPS_21	Edificio prefabricado
TPS_22 & 23	Estructuras metálicas y pernos de anclaje
TPS_25	Pararrayos y Puntas Franklin
TPS_26	Material de obra civil (tuberías, drenaje, etc.)
TPS_27	Material de la red de tierra
TPS_28	Tornillos, pernos, etc.
TPS_29	Otros materiales

Tabla 12: Plan de Compras de la subestación De Lentvaris

Es importante mencionar que la identificación de cada equipamiento se ha establecido para llevar una correcta trazabilidad de los pedidos del Plan de Compras. La denominación TPS, proviene del inglés, *Traction Power Supplies*, refiriéndose a los suministros de la Subestación de Tracción. De esta forma se diferencia del equipamiento necesario para Catenaria y Señalización y SCADA.

En la tabla se observan diferentes saltos en la enumeración de los ítems. Esto es debido a que se tratan de suministros de las otras subestaciones o centros de transformación y que, por tanto, no aplicarían a la subestación de Lentvaris.

5.3 PLAN DE CONSTRUCCIÓN

La siguiente fase de la Planificación de la Cadena de Suministro de la subestación de Lentvaris sería extraer una serie de hitos del proceso de construcción e instalación del equipamiento y material. Estas fechas son claves para establecer una correcta planificación de la cadena de suministro y que todo el equipamiento definido en el Plan de Compras de la subestación llegue a tiempo a la implantación en el terreno. A continuación se han establecido las siguientes tareas de construcción:

1. PREPARACIÓN DE LA DESENERGIZACIÓN
2. DESCONEXIÓN DE LOS EQUIPOS
3. DESMONTAJE DE LOS EQUIPOS
 - 1.1. Desmontaje del equipamiento interno del edificio

- 1.2. Desmontaje de los equipos del parque de 110 kV
- 1.3. Desmontaje del equipamiento externo de 27,5 kV
- 1.4. Desmontaje de la aparamenta de 10 kV
- 1.5. Desmontaje del equipamiento de baja tensión
2. DEMOLICIÓN (Obra Civil)
 - 2.1. Excavación del terreno (primera capa)
 - 2.2. Edificios y estructuras
 - 2.3. Estructuras metálicas
 - 2.4. Vallas y árboles
3. MOVILIZACIÓN A LAS OBRAS
4. OBRA CIVIL
 - 4.1. Cimentaciones
 - 4.1.1. Cimentaciones de hormigón
 - 4.1.2. Cimentaciones prefabricadas para el equipamiento de 110 kV
 - 4.2. Ensamblaje de las estructuras metálicas
 - 4.2.1. Estructuras de acero para el equipamiento de 110 kV
 - 4.2.2. Estructuras de acero para el equipamiento de 27,5 kV
 - 4.3. Instalación de sistemas de ingeniería
 - 4.4. Instalación de zanjas para el cableado (canales)
 - 4.5. Obras en el terreno
 - 4.6. Acabados
5. INSTALACIÓN DE EQUIPOS
 - 5.1. Cables de alimentación
 - 5.2. Instalación de la malla de puesta a tierra
 - 5.3. Montaje / Instalación de transformadores de potencia
 - 5.4. Instalación de equipos en el parque de 110 kV
 - 5.5. Instalación de equipos de iluminación y celdas en el parque de 110 kV
 - 5.6. Instalación de barras y conexiones del cableado
 - 5.7. Trabajo externo de la aparamenta de media tensión
 - 5.8. Instalación de un conductor de nivelación de potencial
 - 5.9. Tendido de cables de control y alimentación

-
- 5.10. Conexión de cables de control
 - 5.11. Terminales del cable de alimentación y conexión
 - 5.12. Equipamiento relacionado con los convertidores estáticos de frecuencia
 - 5.13. Trabajo del edificio de control
 - 5.13.1. Ensamblaje del edificio de control
 - 5.13.2. Bandejas del cable de alimentación
 - 5.13.3. Equipamiento de 27,5 kV a catenaria
 - 5.13.4. Equipamiento de 27,5 kV a la DLB
 - 5.13.5. Equipamiento de 10 kV a la AB
 - 5.13.6. Bandejas de los cables de control y telecomunicación
 - 5.13.7. Transformadores de potencia de 27,5 kV/0,4 kV
 - 5.13.8. Cuadro de distribución de corriente alterna
 - 5.13.9. Cuadro de distribución de corriente continua
 - 5.13.10. Baterías y rectificadores
 - 5.13.11. Relé de protección
 - 5.13.12. Telecomunicaciones
 - 5.13.13. Cables de control
 - 5.13.14. Conexiones de los cables de control
 - 5.13.15. Conexiones de los terminales de los cables de control
 - 5.13.16. Cables de telecomunicación
 - 5.13.17. Sistema de medición y contabilidad de energía
 - 5.13.18. HVAC
 - 5.13.19. Sistema de seguridad
 - 5.13.19.1. Sistema de protección contra incendios
 - 5.13.19.2. Sistema estacionario de extinción de incendios
 - 5.13.19.3. Sistema de alarma de seguridad
 - 5.13.19.4. Sistema de control de acceso
 - 5.13.19.5. Sistema de videovigilancia
 - 5.13.19.6. Instalación de otros equipamientos y materiales
 - 5.13.19.7. Finalización (documentación del sistema de seguridad)
6. RESTABLECER LAS CONEXIONES DE TODAS LAS LÍNEAS

7. ENERGIZACIÓN DE EQUIPOS

Las tareas 1, 2, 3 y 4 corresponden con el desmantelamiento de la antigua subestación de Lentvaris, quedando fuera del alcance de este proyecto. Teniendo en cuenta además que las tareas 5, 8 y 9 serían fases constructivas que no afectarían al Plan de Compras, se ha querido enfocar el proyecto en la Obra Civil e Instalación de equipos (tareas 6 y 7).

De las diferentes subfases mencionadas en las tareas de Obra Civil e Instalación de equipos que afectan al Plan de Compras se han extraído sus correspondientes hitos de construcción:

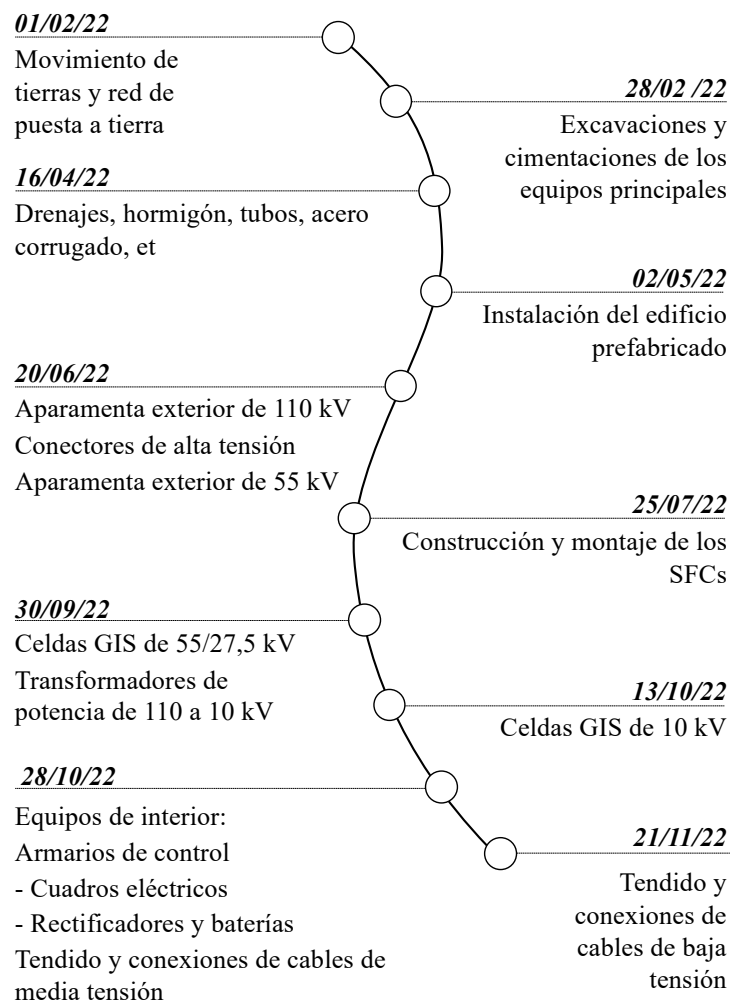


Figura 18: Hitos constructivos de la subestación de Lentvaris

En la Tabla 13 se muestran las fechas finales en las que construcción debe disponer de cada uno de los materiales y equipamiento.

<i>1/2/22</i>	<i>Movimiento de tierras y red de puesta a tierra</i>	TPS_27	Material de la red de tierra
<i>28/2/22</i>	<i>Excavaciones y cimentaciones de los equipos principales (aparamenta de 110 kV. Equipo SFC y pórtico de 27,5 kV)</i>	TPS_22 & 23	Estructuras metálicas y pernos de anclaje
<i>16/4/22</i>	<i>Drenajes, hormigón (prefabricado), tubos, acero corrugado, etc.</i>	TPS_26	Material de obra civil (tuberías, drenaje, etc.)
<i>2/5/22</i>	<i>Instalación del edificio prefabricado</i>	TPS_21	Edificio prefabricado
		TPS_28	Tornillos, pernos, etc.
<i>20/6/22</i>	<i>Aparamenta exterior de 110 kV, conectores de alta tensión y aparamenta exterior de 55 kV</i>	TPS_3.1	Interruptores de 110 kV
		TPS_4.1	Seccionadores de 110 kV
		TPS_4.2	Seccionadores de 27,5 kV
		TPS_5.1	Transformadores de medida de 110 KV
		TPS_5.2	Transformadores de medida de 27,5 KV
		TPS_5.3	Armario de retorno de vía
		TPS_6.1	Autoválvulas de 110 KV
		TPS_6.2	Autoválvulas de 27,5 / 10 kV
		TPS_11.1	Seccionador catenaria-feeder de 55 / 27,5 kV
		TPS_16	Cables aéreos y soportes (embarrados)
		TPS_20	Accesorios, aisladores y piezas de conexión
TPS_25	Pararrayos y Puntas Franklin		
<i>25/7/22</i>	<i>Construcción y montaje de los Convertidores estáticos de frecuencia</i>	TPS_1	Convertidores estáticos de frecuencia

30/9/22	<i>Celdas aisladas en gas de 55 / 27.5 kV y servicios auxiliares</i>	TPS_3.2	Combinado de interruptores y DSB de 27,5 kV
		TPS_9.1	Celdas de tracción GIS (27,5 kV)
		TPS_9.2	Celdas DLB GIS (27,5 kV)
	<i>Transformadores de Potencia de 110 a 10 kV</i>	TPS_7.1	Transformadores de potencia de 110 / 27,5kV (DLB)
		TPS_7.2	Transformadores de potencia de 27,5 / 0,4kV (SRT)
		TPS_7.3	Transformadores de potencia de 0,4/ 10kV (T)
13/10/22	<i>Celdas aisladas en gas de 10 kV</i>	TPS_10	Celdas DLB GIS (10 kV)
28/10/22	<i>Equipos de interior (armarios de control, cuadros eléctricos, rectificadores-baterías)</i>	TPS_12	Sistema de protección y control
		TPS_13	Servicios auxiliares de los transformadores
		TPS_14	Rectificadores, baterías y UPS
		TPS_15	Cuadros eléctricos
	<i>Tendido y conexiones de cables de media tensión</i>	TPS_17.1	Cables de media tensión
		TPS_19	Terminaciones de los cables
	<i>Equipos de interior (armarios de control, cuadros eléctricos, rectificadores-baterías)</i>	TPS_29	Otros materiales
21/11/22	<i>Tendido y conexiones de cables de baja tensión</i>	TPS_17.2	Cables de baja tensión
		TPS_18	Fibra óptica

Tabla 13: Fechas de comienzo de la instalación del equipamiento y material del Plan de Compras

Conocidas estas fechas, se establece una estrategia *Pull* hasta obtener los días de llegada de la documentación correspondiente al diseño de cada suministro. Esto se denomina Paquete Técnico del material y se explica en el apartado 5.4.1. Para establecer un proceso aguas arriba hasta obtener las fechas de comienzo del Proceso de Compras, primero se debe explicar el proceso de la Cadena de Suministro total. En los apartados 5.4 y 0 se expone cada una de las fases del Proceso de Compras y Logística del material y en el apartado 0 el Plan de Compras final.

Se debe tener en cuenta que se va a subcontratar parte de la Obra Civil, como por ejemplo la instalación de las cimentaciones. Esto implica que la compra del material necesario para las partes subcontratadas no se está teniendo en cuenta.

5.4 PROCESO DE COMPRAS

Además de establecer una planificación clara para cumplir con los objetivos del proyecto, en términos de coste y tiempo empleado, es preciso definir aquellas fases necesarias para que el Plan de Compras se cumpla en su totalidad.

Los objetivos del proceso de compras son los siguientes:

- Asegurar que toda la documentación cumple con los requerimientos establecidos por el consorcio y el cliente final.
- Mitigar los posibles riesgos asociados en cada compra del material.
- Asegurar que el material comprado cumple con los requisitos acordados con los proveedores.
- Evaluar, comparar, validar y proponer potenciales proveedores que sean adecuados para cada uno de los suministros mencionados en el Plan de Compras, cumpliendo con la normativa de los requerimientos contractuales.
- Coordinar las necesidades del proyecto con los departamentos de Ingeniería y Construcción. [28]

En el diagrama de flujo mostrado a continuación se observan cada una de las fases que requeridas para la realización del Proceso de Compras.

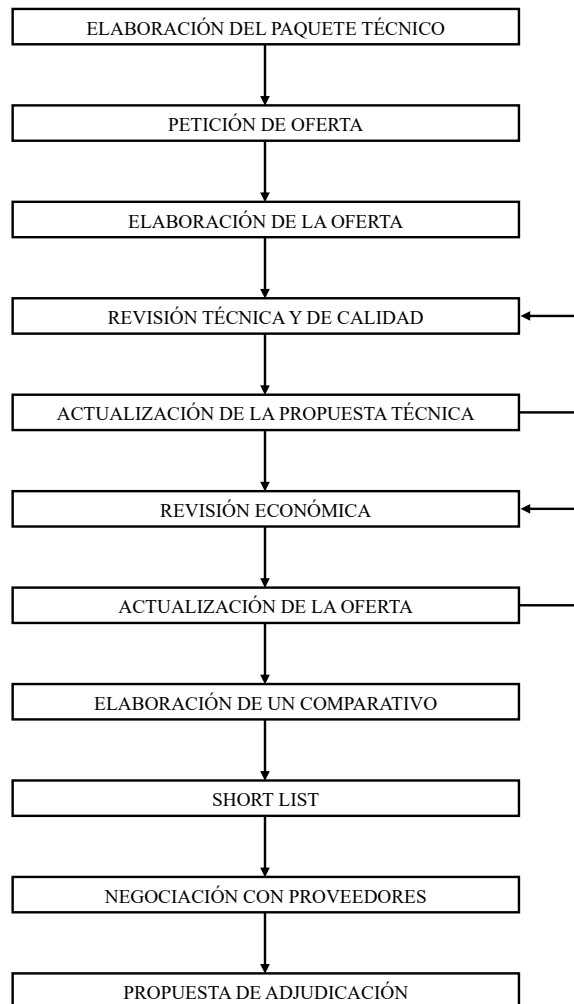


Figura 19: Diagrama de flujo del proceso de compras

Además, en la Tabla 14 se muestra los recursos a utilizar en cada una de las fases del Proceso de Compras:

<i>FASES DEL PROCESO DE COMPRAS</i>	<i>Recursos</i>
<i>Elaboración del Paquete Técnico</i>	Departamento de Ingeniería
<i>Petición de Oferta</i>	Departamento de Compras y Logística
<i>Elaboración de la oferta</i>	Proveedores
<i>Revisión Técnica y de Calidad</i>	Departamento de Ingeniería + Departamento de Compras y Logística
<i>Revisión Económica</i>	Departamento de Ingeniería
<i>Elaboración de un comparativo</i>	Departamento de Compras y Logística
<i>Shortlist</i>	Cliente
<i>Negociación con proveedores</i>	Departamento de Compras y Logística + Proveedores
<i>Propuesta de Adjudicación</i>	Departamento de Compras y Logística

Tabla 14: Recursos necesarios para cada una de las fases del Proceso de Compras

5.4.1 ELABORACIÓN DEL PAQUETE TÉCNICO

Para cada uno de los suministros mencionados en la Tabla 12, el Departamento de Ingeniería elabora lo que se denomina Paquete Técnico del material de la subestación. Esta carpeta engloba los siguientes documentos:

BOQ (BILL OF QUANTITIES)

Documento en el que se indica la cantidad necesaria del equipamiento según el diseño de la subestación de Lentvaris. Esta cantidad está declarada en términos de unidades en equipamiento eléctrico, peso (kg) en estructuras y longitud (m) en cableado. En la Tabla 9 del apartado 0 se muestra el BoQ total del equipamiento eléctrico necesario para la construcción de la subestación.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL EQUIPAMIENTO Y MATERIAL

Documento en el que se establecen aquellos parámetros definidos en la Documentación Técnica del diseño de la subestación que afectan al material a comprar. Estas especificaciones se dividen en:

- Normativa estándar del equipamiento
- Condiciones ambientales
- Características nominales
- Características de diseño
- Características de cada una de las partes del equipamiento
- Requerimientos adicionales

Es importante asegurar que la oferta del proveedor cumpla con todas las especificaciones mencionadas en este documento para garantizar la seguridad y correcto funcionamiento de la subestación.

- Planos de dimensiones
- Planos y diagramas unifilares de la subestación de Lentvaris
- Observaciones

Documento en el que se aclaran algunas particularidades que debe tener el equipamiento debido sobre todo a normativas lituanas o a diseños que requiere el cliente.

5.4.2 PETICIÓN DE OFERTA

En inglés, RFQ (Request for Quotation)

La Petición de Oferta se realiza a través de correo electrónico. Se elabora primero un Estudio de Mercado para seleccionar aquellos proveedores competitivos y que cumplan con todas las garantías de seguridad en la instalación de sus equipos y materiales. El estudio de mercado tiene en cuenta los siguientes factores:

1. Proveedores locales y de países vecinos, debido a la proximidad a la hora de gestionar la cadena de logística del material.
2. Proveedores habituados a trabajar bajo las condiciones atmosféricas lituanas. Algunos equipos requieren especificaciones atmosféricas estrictas debido a las bajas temperaturas y condiciones de hielo y nieve que se dan en el país lituano.

3. Proveedores partícipes en proyectos anteriores realizados por el consorcio. Estos proveedores tienen una mayor fiabilidad a la hora de cumplimiento de plazos de entrega y funcionamiento del equipo.
4. Búsqueda de sinergias. A la hora de la adjudicación de un material se estudia la compra de varios ítems como conjunto ya que reduce el coste total y facilita la llegada del material.
5. Priorización de fabricantes frente a distribuidores del material. Mantener contacto directamente con el fabricante de un producto permite simplificar el proceso de la Cadena de Suministro.

A continuación se explica la estructura que debe llevar la RFQ:

ASUNTO DEL CORREO

Para llevar a cabo un seguimiento y trazabilidad de ofertas se establece el siguiente asunto del correo:

RFQ – Nombre de la compañía – Enumeración del equipamiento – Nombre completo del equipamiento – Electrificación Ferroviaria de la sección Vilnius – Klaipėda.

PROPUESTA TÉCNICA Y DE CALIDAD

En la petición de oferta se pide al proveedor que proporcione la siguiente documentación:

- Fichas técnicas.
- Planos.
- Manuales de instalación, mantenimiento y operación.
- Catálogos del producto.
- Certificaciones de calidad.
- Programas de puntos de inspección.
- Listado y procedimientos de los Ensayos de Rutina.
- Informes de Ensayos Tipo.
- Recomendaciones de transporte, descarga y acoplo de material.
- Otra información relevante.

PROPUESTA ECONÓMICA

Por otro lado, para que el proveedor realice una oferta con todos los parámetros a analizar se le solicita la siguiente información:

- Precios unitarios en Euros.
- Plazos de entrega una vez formalizado el pedido.
- Condiciones de pago.
- Garantía de suministro de al menos 60 meses desde la fecha de entrega.
- Términos de entrega:
 - o Indicar precios para los Incoterms Exworks y DDP/DAP (Lituania). Esto se explica más en detalle en el apartado 5.5.5.
 - o Volumen estimado del equipamiento ofertado (en términos logísticos)
- Validez de la oferta. Al menos 90 días.
- Dossier de presentación de la compañía.
- Datos fiscales: nombre completo, dirección fiscal y número de identificación fiscal.
- Otra información relevante.

Además, se establecen diferentes aspectos técnicos concretos de cada suministro y se adjunta el Paquete Técnico explicado en el apartado 5.4.1.

5.4.3 ELABORACIÓN DE LA OFERTA

Cada proveedor tiene un tiempo límite para la elaboración de la oferta técnica y económica. Este tiempo depende del equipo a suministrar, si es estándar o requiere unas características específicas de diseño.

5.4.4 REVISIÓN TÉCNICA

El Departamento de Compras realiza una primera revisión de la oferta enviada por el proveedor. Una vez revisada, envía toda la información a Ingeniería. Se elabora un primer informe por parte del Departamento de Ingeniería en el que se establecen aquellos parámetros que no cumplen con lo requerido y algunos aspectos que el proveedor necesita aclarar y documentar correctamente. A través del interfaz Ingeniería – Compras – Proveedores se realizan todas las revisiones del equipamiento pertinentes hasta que la propuesta es aceptada o rechazada por parte de Oficina Técnica.

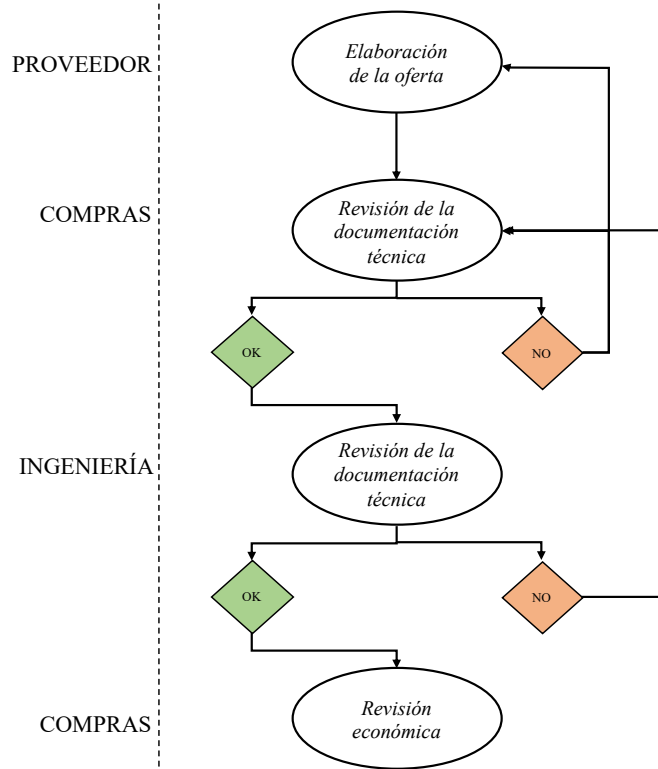


Figura 20: Esquema de las fases de revisión técnica y económica

5.4.5 REVISIÓN ECONÓMICA

Todas aquellas ofertas que han sido validadas por parte de Oficina Técnica se revisan económicamente a través de la elaboración de un comparativo. En este documento se tienen en cuenta:

- El alcance de cada oferta en términos de accesorios, ensayos y servicios ofertados.
- Los precios unitarios de cada equipo ofertado: priorizando aquellos proveedores más competitivos.
- El plazo de fabricación y entrega: teniendo en cuenta la planificación estudiada en el apartado 0.
- Las condiciones de entrega: el proveedor realiza una oferta según Incoterms 2010.
- El método de pago: según Ley 15/2010.
- La garantía ofrecida, teniendo en cuenta un mínimo de 60 meses.
- La validez de la oferta, con un mínimo de 90 días.

Para realizar un análisis cuantitativo de cada proveedor se han elaborado las siguientes tablas en las que se establece un criterio de selección de proveedores basado en su propuesta técnica, económica y de calidad y teniendo en cuenta todos los aspectos mencionados anteriormente:

PRECIO

La oferta del proveedor debe ser comparable con respecto a su competencia. Siempre se va a priorizar aquellos proveedores que económicamente suponen un ahorro de los costes del proyecto. Sin embargo, al suponer la logística mayormente internacional, se debe tener en cuenta el Incoterm propuesto por la compañía proveedora. El precio final, por tanto, debe incluir el coste del producto y transporte hasta el almacén.

En cuanto al Incoterm solicitado, en el proyecto se exige DAP Lituania en la mayoría de los ítems del Plan de Compras. De esta forma, el riesgo disminuye considerablemente. Si el equipamiento es de gran tamaño, se solicita EXW y se realiza un comparativo con diferentes transitarios que aporten una fiabilidad adecuada de que el suministro llegue en el plazo de entrega previsto. En el apartado 5.5.5 se explican los Incoterms más utilizados en detalle.

PRECIO

	<i>Factor a evaluar</i>	<i>Puntuación</i>	<i>Observaciones</i>
<i>Oferta</i>	El proveedor presenta la mejor oferta económica	100%	-
	El proveedor presenta una oferta (P_1) mayo a la mejor oferta (P_0)	$100\% - 4 * \frac{P_1 - P_0}{P_0}$	
<i>Incoterm</i>	El proveedor presenta su oferta en el Incoterm demandado en la RFQ	100%	-
	El proveedor presenta su oferta en un Incoterm diferente al demandado en la RFQ	10% - 95%	El porcentaje final se determina en base al Incoterm propuesto en la RFQ, teniendo en cuenta las debilidades y fortalezas que aplicarían al proyecto

<i>Divisa</i>	El proveedor presenta su oferta en la divisa demandada en la RFQ	100%	-
	El proveedor presenta su oferta en una divisa diferente a la demandada en la RFQ	50% - 95%	El porcentaje final se determina en base a la divisa, teniendo en cuenta los riesgos que conlleva

Tabla 15: Tabla de puntuación del precio de las ofertas de los proveedores

PLAZO DE ENTREGA

Debido a las exigencias de que el suministro llegue a tiempo para la construcción e instalación de equipamiento, se debe tener en cuenta el plazo de fabricación y entrega que prevé el proveedor. Además, este parámetro es especialmente crítico en aquellos ítems del Plan de Compras cuya holgura es muy pequeña o inexistente.

PLAZO DE ENTREGA

<i>Factor a evaluar</i>	<i>Puntuación</i>	<i>Observaciones</i>
El proveedor asegura un plazo de entrega inferior al necesario para el proyecto y menor a los demás proveedores	100%	-
El proveedor asegura un plazo de entrega inferior al necesario para el proyecto pero su plazo de entrega no es el menor	80% - 95%	El porcentaje final se determina teniendo en cuenta las autorizaciones del proyecto y los riesgos asociados al tiempo de fabricación del equipo
El proveedor no asegura un plazo de entrega inferior al necesario para el proyecto	0% - 50%	El porcentaje final se determinará teniendo en cuenta si el proyecto puede o no asumir ese periodo de fabricación, y comparándolo con los plazos dados por los otros proveedores

Tabla 16: Tabla de puntuación del plazo de entrega propuesto por los proveedores

MÉTODO DE PAGO

El método de pago previsto se realiza por transferencia bancaria y varía dependiendo del suministro en concreto. Para los ítems pequeños (baja tensión, herrajes) se procede a la petición de pago a 30 o 60 días desde la fecha de entrega. En cuanto a aquellos suministros de alta tensión o edificios y estructuras, es altamente probable que los proveedores soliciten un pago por anticipado del suministro. Se intenta minimizar en todo momento los pagos realizados en la fase de fabricación del equipamiento o material, incrementando el porcentaje de pago en la puesta en marcha del suministro. Esta estrategia permite una optimización del Flujo de Caja del Proyecto.

<i>MÉTODO DE PAGO</i>		
<i>Factor a evaluar</i>	<i>Puntuación</i>	<i>Observaciones</i>
El proveedor acepta condiciones de pago favorables según los intereses del proyecto, siendo este método mejor que el de sus competidores	100%	-
El proveedor acepta condiciones de pago favorables según los intereses del proyecto, pero su método de pago no es mejor que el de sus competidores	80% - 95%	El porcentaje final se determina en función de las condiciones de pago acordadas con el fabricante, valorando su adecuación al interés del proyecto
El proveedor accede a condiciones de pago aceptables según los intereses del proyecto	50% - 75%	El porcentaje final se determina en función de las condiciones de pago acordadas con el fabricante, valorando su adecuación al interés del proyecto
El proveedor acepta condiciones de pago que perjudican los intereses del proyecto	0%-45%	El porcentaje final se determina en función de las condiciones de pago acordadas con el fabricante,

		valorando su adecuación al interés del proyecto
--	--	---

Tabla 17: Tabla de puntuación del método de pago propuesto por los proveedores

REFERENCIAS

Además, es adecuado darle un ligero peso a aquellos proveedores que han suministrado en proyectos parecidos. De esta forma, se asegura que los equipamientos funcionan correctamente en la instalación, durante toda su vida útil y bajo las condiciones atmosféricas lituanas.

REFERENCIAS

<i>Factor a evaluar</i>	<i>Puntuación</i>	<i>Observaciones</i>
El proveedor presenta referencias en proyectos e instalaciones similares a las requeridas	100%	-
El proveedor presenta referencias en proyectos similares, pero para instalaciones o aplicaciones distintas a las requeridas	70% - 95%	-
El proveedor no suministra referencias de proyectos similares	0% - 65%	-

Tabla 18: Tabla de puntuación según las referencias enviadas por el proveedor

SITUACIÓN ECONÓMICA Y CAPACIDAD DE FABRICACIÓN

Se debe, además, realizar un estudio de los riesgos de las compañías que suministran el equipamiento y material así como la disponibilidad y capacidad de fabricación. Así se disminuyen riesgos por impagos y aumento de los tiempos de fabricación del suministro.

SITUACIÓN ECONÓMICA

<i>Factor a evaluar</i>	<i>Puntuación</i>	<i>Observaciones</i>
La empresa tiene una situación solvente y no ha incurrido en impagos conocidos	90% - 100%	-
La situación del proveedor es dudosa y no ofrece todas las garantías	50% - 85%	-
El proveedor ha incurrido en impagos o está en posición de impugnar a los acreedores	0% - 45%	-

Tabla 19: Tabla de puntuación de la situación económica del proveedor

CAPACIDAD DE FABRICACIÓN

<i>Factor a evaluar</i>	<i>Puntuación</i>	<i>Observaciones</i>
El proveedor tiene suficiente capacidad de fabricación para las necesidades del proyecto y sus instalaciones son óptimas	90% - 100%	-
El proveedor tiene suficiente capacidad de fabricación para las necesidades del proyecto, pero sus instalaciones y sistemas de fabricación no son óptimos	50% - 85%	-
El proveedor no demuestra una capacidad de fabricación suficiente para las necesidades del proyecto	0% - 45%	-

Tabla 20: Tabla de puntuación de la capacidad de fabricación del proveedor

5.4.6 REVISIÓN DE CALIDAD

Por otro lado, se debe realizar una revisión de Calidad de cada suministro. Para ello se identifican aquellos requerimientos en base a normativas y su correspondiente control de Calidad, Medio Ambiente, Seguridad y Salud de los trabajadores. Todo equipamiento y material necesita disponer de una declaración de conformidad del fabricante, además de certificados, ensayos tipo y planes de inspección. Los proveedores además, deben estar previamente homologados o llevar a cabo un proceso de evaluación si no se da el caso. Al igual que en la revisión económica, se ha elaborado una tabla de puntuación para valorar cada propuesta en términos de calidad:

<i>CALIDAD</i>			
	<i>Factor a evaluar</i>	<i>Puntuación</i>	<i>Observaciones</i>
<i>Certificados</i>	El proveedor ha enviado todos los Certificados de Calidad necesarios	100%	-
	Solo algunos de los Certificados de Calidad han sido enviados pero el proveedor proporciona claras evidencias del cumplimiento de todos los requisitos de calidad	80% - 95%	El porcentaje final se determina según la importancia de los certificados que faltarían
	Ningún Certificado de Calidad ha sido enviado pero el proveedor proporciona claras evidencias del cumplimiento de todos los requisitos de calidad	70% - 75%	El porcentaje final se determina según la importancia de los certificados que faltarían

	Solo algunos de los Certificados de Calidad han sido enviados y el proveedor no proporciona claras evidencias del cumplimiento de todos los requisitos de calidad	40% - 65%	El porcentaje final se determina según la importancia de los certificados que faltarían
	Ningún Certificado de Calidad ha sido suministrado y el proveedor no proporciona claras evidencias del cumplimiento de todos los requisitos de calidad	0% - 35%	-
<i>Fiabilidad</i>	Los equipos tienen unos niveles de fiabilidad óptimos para el proyecto y son los mejor valorados	100%	-
	Los equipos tienen unos niveles de fiabilidad óptimos para el proyecto pero no son los mejor valorados	50% - 90%	El porcentaje final se determina según las evaluaciones y conclusiones realizadas y el comparativo frente a otros proveedores
	Los equipos no tienen unos niveles de fiabilidad óptimos para el proyecto	0%	-
<i>Disponibilidad</i>	El equipo tiene niveles de disponibilidad de fabricación óptimos para el proyecto y son los mejor valorados	100%	-
	El equipo tiene niveles de disponibilidad de fabricación	50% - 90%	El porcentaje final se determina según las evaluaciones y conclusiones

	óptimos para el proyecto pero no son los mejor valorados		realizadas y el comparativo frente a otros proveedores
	El equipo no tiene niveles de disponibilidad de fabricación óptimos para el proyecto	0%	-
	El equipo tiene niveles de mantenimiento óptimos en el proyecto y son los mejor valorados	100%	-
<i>Mantenimiento</i>	El equipo tiene niveles de mantenimiento óptimos en el proyecto pero no son los mejor valorados	50% - 90%	El porcentaje final se determina según las evaluaciones y conclusiones realizadas y el comparativo frente a otros proveedores
	El equipo no tiene niveles de mantenimiento óptimos en el proyecto	0%	-
	El equipo tiene niveles de seguridad óptimos en el proyecto y son los mejor valorados	100%	-
<i>Seguridad</i>	El equipo tiene niveles de seguridad óptimos en el proyecto pero no son los mejor valorados	50% - 90%	El porcentaje final se determina según las evaluaciones y conclusiones realizadas y el comparativo frente a otros proveedores
	El equipo no tiene niveles de seguridad óptimos en el proyecto	0%	-
	El proveedor confirma que se realizarán todas las pruebas FAT	90% - 100%	Se evalúa positivamente si el fabricante ofrece ensayos

<i>Ensayos FAT</i>	descritas en la normativa correspondiente y aquellas requeridas por el cliente		adicionales a los solicitados en la normativa
	El proveedor no confirma que se realizarán todas las FAT descritas en las normas y las requeridas por el cliente	0%	-

Tabla 21: Tabla de puntuación del factor de calidad del proveedor

Es el departamento de Calidad el encargado de revisar correctamente toda esta información y su estudio en detalle queda fuera del alcance de este proyecto.

5.4.7 ELABORACIÓN DEL COMPARATIVO

Una vez analizado todos los aspectos Técnicos, Económicos y de Calidad de cada propuesta ofertada, se han atribuido una serie de pesos a los parámetros mencionados en las tablas anteriores y así obtener las tres mejores opciones:

<i>Parámetro analizado</i>		<i>Peso</i>
<i>Revisión Técnica</i>	Especificaciones Técnicas	25 %
<i>Revisión Económica</i>	Precio	
	Oferta	85 %
	Incoterm	10 %
	Divisa	5 %
	Subtotal	25 %
	Plazos de Entrega	15 %
	Condiciones de pago	10 %

	Referencias	5 %
	Situación Económica	2,5 %
	Capacidad de Fabricación	2,5 %
<i>Calidad</i>	Certificados	10 %
	Fiabilidad	18 %
	Disponibilidad	18 %
	Mantenimiento	18 %
	Seguridad	18 %
	Pruebas FAT	18 %
	Subtotal	15 %
TOTAL		100 %

Tabla 22: Tabla de pesos de la oferta completa del proveedor, en términos técnicos, económicos y de calidad

Es importante clarificar que si el porcentaje de Revisión Técnica es 0 %, implica que la Oferta no ha sido validada técnicamente, quedando esta oferta descartada. Lo mismo ocurriría si la empresa a la que se le ha pedido oferta no es solvente ya que podría suponer un riesgo inminente en el material estudiado.

La fórmula de valoración de proveedores quedaría de la siguiente forma:

Si ($Rev_{Tec} > 0$ & $Situación\ Económica > 0$)

Ecuación 1: Valoración del proveedor en términos técnicos, económicos y de calidad

$$\left\{ \begin{array}{l} \mathbf{Valoración (\%)} = \mathbf{25 * Rev_{Tec} + 60 * Rev_{Ec} + 15 * Rev_Q} \\ Rev_{Ec}(\%) = 25 * Precio + 15 * P_{entrega} + 10 * Cond_{pago} + 5 * Ref + 2,5 * Sit_{ec} + 2,5 * Cap_{fab} \\ Precio (\%) = 85 * Oferta + 10 * Incoterm + 5 * Divisa \\ Rev_Q(\%) = 25 * Cert + 15 * Fiab + 10 * Disp + 5 * Mant + 2,5 * Seg + 2,5 * FAT \end{array} \right.$$

Siendo:

Rev_{Tec} → Puntuación de la revisión técnica del proveedor X (%)

- Rev_{Ec} → Puntuación de la revisión económica del proveedor X (%)
- Rev_Q → Puntuación de la revisión de calidad del proveedor X (%)
- $Precio$ → Puntuación del precio total de la oferta del proveedor X (%)
- $P_{Entrega}$ → Puntuación del plazo de entrega ofrecido por proveedor X (%)
- Ref → Puntuación de las referencias ofrecidas por proveedor X (%)
- Sit_{Ec} → Puntuación de la situación económica del proveedor X (%)
- Cap_{Fab} → Puntuación de la capacidad de fabricación del proveedor X (%)
- $Oferta$ → Puntuación del precio del suministro, incluyendo precios unitarios y transporte a DAP Lituania, del proveedor X (%)
- $Incoterm$ → Puntuación del Incoterm ofertado por el proveedor X (%)
- $Divisa$ → Puntuación de la divisa ofertada por el proveedor X (%)
- $Cert$ → Puntuación del total de certificados enviados por el proveedor X (%)
- $Fiab$ → Fiabilidad del equipo Y suministrado por el proveedor X (%)
- $Disp$ → Disponibilidad de fabricación del equipo Y suministrado por el proveedor X (%)
- $Mant$ → Mantenimiento del equipo Y suministrado por el proveedor X (%)
- Seg → Seguridad del equipo Y suministrado por el proveedor X (%)
- FAT → Ensayos FAT confirmados por el proveedor X (%)

5.4.8 SHORT LIST

Una Short List es una preselección de aquellos proveedores cuyas ofertas han obtenido una puntuación mayor. Para asegurar la adjudicación de un proveedor que cumpla con todas las características técnicas y que además sea más rentable económicamente se ha estimado (apartado 0) realizar una Shortlist de tres candidatos para cada suministro del Plan de Compras. Esta Shortlist se presenta al cliente, y debe incluir:

- Dossier de presentación de la compañía, en inglés.
- Datos fiscales:
 - o Nombre completo de la compañía
 - o Dirección fiscal
 - o Número CIF

El cliente, por tanto, tiene toda la información necesaria para poder aceptar o reclinar a un proveedor.

5.4.9 NEGOCIACIÓN Y PROPUESTA DE ADJUDICACIÓN

Si el cliente ha aceptado a los tres proveedores propuestos, se comienza la fase de negociación de Ofertas. Durante este periodo los proveedores tienen la oportunidad de mejorar su propuesta técnica y comercial, y el Departamento de Compras es el encargado de ejecutar una propuesta de adjudicación del suministro de aquel proveedor cuya oferta resulte más atractiva económicamente. La decisión del proveedor final se eleva al Comité de dirección, junto con la tabla comparativa obtenida aplicando lo explicado en el apartado 5.4.7 de todos los proveedores que han podido ofertar. En cuanto el Comité dé el visto bueno al proveedor, se comienza con la fase de propuesta de adjudicación.

Para la adjudicación del suministro se elabora un Pedido de Compras, que abarca los siguientes documentos:

- Anexo I: Condiciones Particulares del Pedido de Compras

Documento en el que se establecen aquellos aspectos específicos del suministro y proveedor adjudicatario concreto, según las condiciones establecidas en la oferta.

- Anexo II: Condiciones Generales de Compra

Condiciones que se dan en todos los Pedido de Compras realizados por la empresa.

- Anexo III: Documentación Técnica final

Abarca toda la documentación técnica proporcionada por el proveedor. Este documento se denomina *Technical Submittal* y se divide en las siguientes partes:

- Certificado de Origen del equipamiento o material
- Declaración de conformidad según normativa de fabricación
- Hoja de características del suministro
- Planos de cada una de las partes del suministro
- Plan de Inspección y Ensayos
- Informe de Ensayos Tipo
- Certificados ISO de la compañía

- Anexo IV: Oferta del proveedor

Se añade la última actualización de la oferta del proveedor adjudicatario.

- Anexo V: Plan de Control

Se establece un programa de entregables del proceso de fabricación para llevar a cabo un seguimiento correcto de la fabricación del suministro. Este Plan de Control abarca las siguientes fases documentales:

- Aceptación del Pedido de Compras por parte del proveedor
- Documento de la planificación de la fabricación, almacenaje y transporte, además de diversas recomendaciones del suministro establecidas por el fabricante
- Protocolo FAT, Plan de Calidad y Programa de Puntos de inspección
- Fin de la fabricación, informes de los ensayos realizados y certificados de calidad
- Informe de pruebas FAT
- Preparación del envío del suministro.

El proveedor debe acordar con la empresa las fechas de entrega de cada uno de los documentos mencionados.

- Anexo VI: Plan de Entregas

Si es necesario realizar entregas parciales en el suministro, el proveedor debe establecer una planificación de las fechas de entrega de cada parte, teniendo en cuenta que en ningún caso puede sobrepasar la fecha límite de la instalación del equipo o material.

Una vez el Pedido de Compra es aceptado por ambas partes, cliente y proveedor, se procede al comienzo del Plan de Logística de los suministros de la subestación.

5.4.10 RATIOS

Para conseguir una propuesta de adjudicación de un precio menor al calculado en el estudio de costes del proyecto, pero con los mayores accesorios y servicios incluidos, se han realizado los siguientes cálculos de ratios que se deben garantizar a la hora de la selección de proveedores:

- Ratio de la Propuesta de Adjudicación 1:3

$$\frac{\text{Proveedor adjudicado}}{N^{\circ} \text{ Proveedores presentados al cliente}}$$

Ecuación 2: Ratio de la propuesta de adjudicación

- Ratio de preselección de proveedores 1:2

$$\frac{N^{\circ} \text{ Proveedores presentados al cliente}}{N^{\circ} \text{ Ofertas validadas técnicamente}}$$

Ecuación 3: Ratio de preselección de proveedores

- Ratio de validación técnica de los proveedores 3:4

$$\frac{N^{\circ} \text{ Ofertas validadas técnicamente}}{N^{\circ} \text{ Ofertas presentadas}}$$

Ecuación 4: Ratio de validación técnica de los proveedores

- Ratio de Estudio de Mercado 4:5

$$\frac{N^{\circ} \text{ Ofertas presentadas}}{N^{\circ} \text{ Proveedores a enviar RFQ}}$$

Ecuación 5: Ratio de Estudio de Mercado

- Ratio total

$$\begin{aligned} \text{Ratio total} &= \text{Ratio de la Propuesta de Adjudicación} \\ &\quad \times \text{Ratio de preselección de proveedores} \\ &\quad \times \text{Ratio de validación técnica de los proveedores} \\ &\quad \times \text{Ratio de Estudio de Mercado} = 1:10 \end{aligned}$$

Ecuación 6: Ratio total

Tal y como se muestra en la Ecuación 6 se debe realizar un Estudio de Mercado eficaz hasta conseguir 10 proveedores para cada suministro y así garantizar una propuesta de adjudicación acorde con las expectativas planteadas.

Estos ratios se monitorizan durante todo el Proceso de Compras. Si en algún suministro no se cumple con los ratios planteados se debe valorar el riesgo que supone el consumo de nuevos recursos a la hora de estudiar posibles nuevas ofertas para ese suministro en cuestión.

5.5 PROCESO DE LOGÍSTICA

El estudio de la cadena de logística depende mucho del suministro, proveedor, localización de la fábrica, etc. Por lo que habría que analizar cada equipo del Plan de Compras por separado. El objetivo de este apartado es establecer unas reglas generales para cada fase del proceso y así poder aplicarlo a diferentes proyectos y suministros.

El proceso de logística es el siguiente:

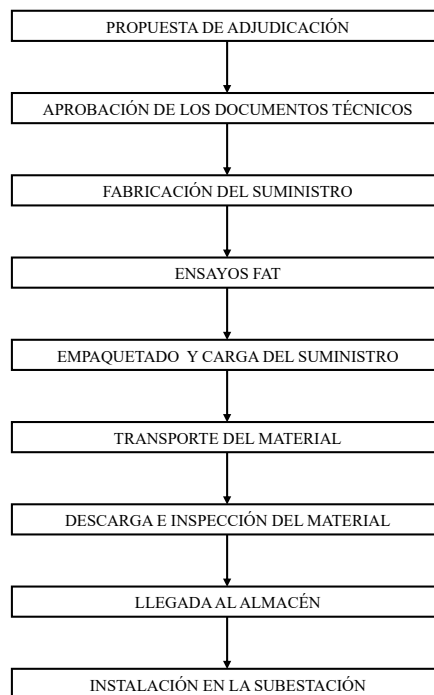


Figura 21: Diagrama de flujo del Proceso de Logística

5.5.1 APROBACIÓN DE LOS DOCUMENTOS TÉCNICOS

En primer lugar, se debe realizar un análisis exhaustivo de la *Technical Submittal* elaborada en la Orden de Compras, comprobando de nuevo el cumplimiento de todos los requerimientos establecidos en el diseño y analizando todos los aspectos de calidad: normativas y certificados, test tipo, protocolos de ensayo, etc.

5.5.2 FABRICACIÓN DEL SUMINISTRO

El proceso de fabricación de cada uno de los ítems del Plan de Compras depende del proveedor adjudicatario del suministro, quedando fuera del alcance del proyecto. Los proveedores deben garantizar que el producto se fabrica con todas las garantías de seguridad y productividad, aplicando las tecnologías más punteras y garantizando su responsabilidad social corporativa. Además cada una de las fábricas debe asegurar el Tiempo de Entrega (*Lead Time*) propuesto en la fase de ofertas. El departamento de Compras debe realizar un seguimiento del proveedor para comprobar que el equipo garantiza la calidad y tiempos de fabricación prometidos. El seguimiento se realiza a través del Plan de Control elaborado en la Orden de Compras y en las diversas visitas a fábrica. En la Tabla se observa una estimación del tiempo de fabricación de cada uno de los ítems.

<i>Ítem</i>	<i>Equipamiento</i>	<i>Tiempo estimado de fabricación</i>
TPS_1	Convertidores estáticos de frecuencia	10
TPS_3.1	Interruptores de 110 kV	7
TPS_3.2	Combinado de interruptores y DSB de 27,5 kV	7
TPS_4.1	Seccionadores de 110 kV	5
TPS_4.2	Seccionadores de 27,5 kV	5
TPS_5.1	Transformadores de medida de 110 KV	6
TPS_5.2	Transformadores de medida de 27,5 KV	6
TPS_5.3	Armario de retorno de vía	6
TPS_6.1	Autoválvulas de 110 KV	5
TPS_6.2	Autoválvulas de 27,5 / 10 kV	5
TPS_7.1	Transformadores de potencia de 110 / 27,5kV (DLB)	7
TPS_7.2	Transformadores de potencia de 27,5 / 0,4kV (SRT)	7
TPS_7.3	Transformadores de potencia de 0,4/ 10kV (AB)	7
TPS_9.1	Celdas de tracción GIS (55 / 27,5 kV)	7
TPS_9.2	Celdas DLB GIS (27,5 kV)	7
TPS_10	Celdas AB GIS (10 kV)	6
TPS_11.1	Seccionador catenaria-feeder de 55 / 27,5 kV	5
TPS_12	Sistema de protección y control	6
TPS_13	Servicios auxiliares de los transformadores	4
TPS_14	Rectificadores, baterías y UPS	4,5
TPS_15	Cuadro eléctrico AC, DC	4,5
TPS_16	Cables aéreos y soportes(embarrados)	2
TPS_17.1	Cables de media tensión	3

TPS_17.2	Cables de baja tensión	3
TPS_18	Fibra óptica	3
TPS_19	Terminaciones de los cables	2
TPS_20	Accesorios, aisladores y piezas de conexión	2
TPS_21	Edificio prefabricado	4,5
TPS_22 & 23	Estructuras metálicas y pernos de anclaje	4
TPS_25	Pararrayos y Puntas Franklin	2
TPS_26	Material de obra civil (tuberías, drenaje, etc.)	2
TPS_27	Material de la red de tierra	2
TPS_28	Tornillos, pernos, etc.	1
TPS_29	Otros materiales	1

Tabla 23: Tiempo estimado de fabricación de los suministros de la subestación

Es importante mencionar que el tiempo de fabricación ha sido estimado a partir de proyectos anteriores de la compañía. En la fase de ofertas de cada suministro se solicita a los fabricantes un tiempo estimado de fabricación y se modifica esta columna si el dato proporcionado por el proveedor varía con respecto a la estimación inicial.

5.5.3 ENSAYOS FAT

Cada uno de los equipos y materiales requieren una serie de Pruebas de Aceptación en Fábrica. Estos ensayos deben ser completados y con un resultado satisfactorio para continuar con el proceso de logística del suministro. El programa de pruebas FAT depende del tipo de equipamiento a fabricar, pero están basados en el documento de Plan de Puntos de Inspección emitido por el proveedor en la *Technical Submittal*, explicada en el apartado 5.4.9.

5.5.4 EMPAQUETADO Y CARGA DEL SUMINISTRO

El empaquetado debe asegurar que el material no sufre defectos durante el transporte, carga y descarga del material. Si el proveedor ha ofertado en términos Exworks, explicado en el apartado 5.5.5, debe suministrar la información logística necesaria para poder elaborar un comparativo entre diferentes empresas de transporte. Esta información logística se elabora a través de un documento denominado *Packing List* o Lista de Carga.

Un *Packing List* es un listado de los suministros a transportar, incluyendo el contenido, peso y medidas de cada bulto, permitiendo así que las mercancías sean fácilmente identificadas por el transitario. El documento debe incluir los siguientes datos:

- Datos de contacto del fabricante
- Datos de contacto del receptor de la mercancía
- Cantidad total de bultos
- Descripción detallada de los bultos
- Peso y volumen de cada uno de los bultos
- Peso y volumen total
- Número de factura comercial
- Distribución por contenedores
- Número de precinto de un contenedor[29]

En la Tabla 24 se pueden observar las dimensiones principales de los contenedores más usados en logística:

	<i>20 pies</i> <i>20' x 8' x 8,6''</i>	<i>40 pies</i> <i>40' x 8' x 8,6''</i>	<i>40 pies High Cube</i> <i>40' x 8 x 9,6'</i>
<i>Tara (kg)</i>	2300	3750	3940
<i>Carga máxima (kg)</i>	28180	28750	28560
<i>Peso bruto (kg)</i>	30480	32500	32500
<i>Uso más frecuente</i>	Carga seca normal: bolsas, pallets, cajas, tambores, etc.	Carga seca normal: bolsas, pallets, cajas, tambores, etc.	Especial para cargas voluminosas
<i>Largo (mm)</i>	5898	12025	12032
<i>Ancho (mm)</i>	2352	2352	2352
<i>Altura (mm)</i>	2393	2393	2698
<i>Capacidad (m²)</i>	32,6	67,7	76,4

Tabla 24: Medidas interiores de los contenedores más utilizados tipo Dry Van[30]

El departamento de Compras y Logística tiene como objetivo optimizar el espacio del contenedor. Conocidos las dimensiones de cada suministro, las fechas de recepción del material y el lugar de fabricación del proveedor se intenta realizar una agrupación de los equipos para así poder utilizar el máximo espacio posible. Para ello se disponen de herramientas y programas concretos de optimización de la carga del equipamiento y material. Su estudio detallado queda fuera del alcance del proyecto.

Si el contenedor no es de carga completa (FCL – *Full Container Load*) se estudian los costes de la carga parcial de un contenedor (LCL – *Less than Container Load*), también conocido como grupaje, en el que los ítems del Plan de Compras se agruparían con otras mercancías de mismo destino u origen.[31]

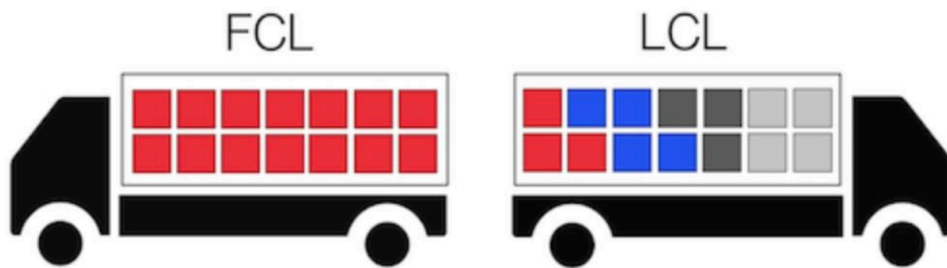


Figura 22: Contenedores de carga completa y carga parcial[31]

5.5.5 TRANSPORTE DEL MATERIAL

La palabra Incoterms proviene de *International Commercial Terms* – Términos de Comercio Internacional. Los Incoterms determinan los requisitos que conlleva una operación de contraventa internacional, estipulando el momento y lugar donde se produce la transmisión de riesgos y la obligación en cuanto a los costes. Fueron creados por la Cámara de Comercio Internacional en el año 1936 y son actualizados aproximadamente cada 10 años. Los Incoterms establecen la responsabilidad del comprador y vendedor en términos de costes, riesgos y seguro. Para establecer estas directrices se debe tener en cuenta:

- Gestión logística en el lugar de origen
En el que se incluye el embalaje, licencias, cargas, transporte, aduanas de exportación y posibles costes de manipulación.
- Gestión del transporte principal

Incluyendo el seguro de la mercancía y transporte correspondientes

- Gestión logística en el lugar de destino

En el que se incluye los costes de manipulación, aduanas de importación, transporte final y recepción y descarga.

Actualmente la versión utilizada es la del año 2010, explicada a continuación[32]:

INCOTERMS

	Embalaje y tramitación	Carga	Transporte	Trámites de exportación	Carga a bordo	Coste y flete	Descarga de buque	Trámites de importación	Transporte a destino	Descarga en destino
EXW	EXWORKS	LUGAR CONVENIDO								
FCA	FREE CARRIER	LUGAR CONVENIDO								
FAS	FREE ALONGSIDE SHIP	PUERTO DE ENVÍO								
FOB	FREE ON BOARD	PUERTO DE ENVÍO								
CFR	COST AND FREIGHT					PUERTO DE DESTINO				
CIF	COST, INSURANCE AND FREIGHT						PUERTO DE DESTINO			
CPT	COST PAID TO...							PUERTO DE DESTINO		
CIP	CARRIER AND INSURANCE PAID TO...							PUERTO DE DESTINO		
DAP	DELIVERY AT PLACE									
DPU	DELIVERY AT PLACE UNLOADED									
DDP	DELIVERY DUTY PAID									

Figura 23: Incoterms 2010[33]

GRUPO E

Ex Works – EXW

El Incoterm Ex Works hace recaer la mayor parte de la responsabilidad en el comprador. El vendedor se asegura de que la mercancía se cargue en sus instalaciones para que el comprador proceda a su exportación, encargándose de todos los gastos y corriendo los posibles riesgos que conlleva su transporte.

GRUPO F

En los Incoterms del grupo F el vendedor se hace responsable de enviar la mercancía al medio de transporte acordado con el comprador. A partir de este punto el comprador se hace cargo de todos los costes y riesgos. Entre los Incoterms del grupo F diferenciamos:

Free Carrier – FCA

El vendedor entrega la mercancía al transportista en sus instalaciones u otro lugar designado, estableciendo el punto de transferencia de riesgos al comprador.

Free Alongside Ship – FAS

El vendedor entrega la mercancía en un muelle de carga del puerto designado por el comprador. Una vez llega la mercancía, la responsabilidad recae en el comprador. Solo se utiliza para el transporte marítimo.

Free on Board – FOB

El vendedor entrega la mercancía a bordo de un buque designado por el comprador. La responsabilidad recae en el comprador al estar a bordo del buque. Solo se utiliza en el transporte marítimo.[34]

GRUPO C

El vendedor se hace cargo de los costes hasta el puerto de destino. A partir de este punto, los riesgos se transfieren al comprador.

Cost and Freight – CFR

El comprador, por tanto, se encarga de los trámites de importación y el transporte interior desde el puerto hasta destino pero asumiendo los riesgos desde que la mercancía está a bordo. Este Incoterm solo se utiliza en el transporte marítimo.

Cost, Insurance and Freight – CIF

El comprador asume los gastos de importación desde el puerto de destino. Sin embargo, la principal diferencia con CFR es que el CIF requiere un seguro en el momento en que la mercancía se encuentra a bordo del buque. Solo se utiliza para el transporte marítimo.

Carriage Paid To – CPT

Vendedor y comprador acuerdan un lugar de destino donde se transfieren los costes al comprador. El riesgo, sin embargo es asumido por el comprador desde el primer medio de transporte contratado por el vendedor.

Carriage and Insurance Paid – CIP

El vendedor se encarga de los gastos hasta destino acordado mientras que el comprador asume los trámites de importación y entrega.

GRUPO D

Los Incoterms del grupo D están referidos al destino del suministro.

Delivered at place Unloaded – DPU

El vendedor envía y descarga el suministro a un lugar de destino acordado por vendedor y comprador, asumiendo todos los riesgos de transporte.

Delivered at Place – DAP

El vendedor envía el suministro a un lugar de destino acordado por vendedor y comprador, asumiendo todos los riesgos de transporte.

Delivered Duty Paid – DDP

La diferencia principal con DAP es que el vendedor además incluye el coste del despacho de importación. El comprador, por tanto, solo se encarga de la descarga del material en el punto de destino.[32]

En la logística de la subestación los Incoterms se simplifican a EXW o DAP Lituania, siendo estos los más habituales en este tipo de proyectos debido a que la gran mayoría de los suministros son de origen europeo y por lo tanto, no hay un despacho de aduanas entre origen y destino. Sin embargo, es muy importante tenerlos en cuenta para conocer el riesgo que supone el transporte de un determinado material. Además, si el suministro es EXW, se debe realizar un análisis de los posibles portes a destino y sus tiempos y costes asociados. Se intenta, por tanto, que los proveedores se encarguen de todo el transporte hasta el almacén situado en Vilnius, Lituania, priorizando estos proveedores frente a los que ofrecen Ex Works. Además, esto es especialmente importante si el país de origen no se encuentra dentro de la Unión Europea, ya que supone los costes del despacho aduanero para la exportación.

5.5.6 INSPECCIÓN DEL MATERIAL

Se debe llevar a cabo un procedimiento de aceptación e inspección del material recibido en las instalaciones de la subestación.

En primer lugar, se verifica la cantidad y el tipo de material, usando como referencia el Albarán de Entrega suministrado por la compañía de transporte. Además, se realiza un proceso de inspección visual de los equipos para asegurar que no han sufrido ningún daño durante el envío.

Aquellas incidencias detectadas durante este periodo se declaran en el documento de entrega. Los materiales que no cumplen con el Plan de Inspección se identifican a través de un etiquetado.

5.5.7 LLEGADA A ALMACÉN

Si la entrega del suministro se realiza antes de su respectivo hito constructivo, se procede a su almacenaje en un edificio localizado en Vilnius, Lituania. En la Tabla 25 se muestran los suministros que requieren su estancia en el interior del almacén. Sin embargo, el almacén es suficientemente grande como para una correcta distribución física de todo el equipamiento y material.

<i>Ítem</i>	<i>Equipamiento</i>	<i>Almacenaje</i>
TPS_1	Convertidores estáticos de frecuencia	Interior
TPS_3.1	Interruptores de 110 kV	Interior
TPS_3.2	Combinado de interruptores y DSB de 27,5 kV	Interior
TPS_4.1	Seccionadores de 110 kV	Interior
TPS_4.2	Seccionadores de 27,5 kV	Interior
TPS_5.1	Transformadores de medida de 110 KV	Interior
TPS_5.2	Transformadores de medida de 27,5 KV	Interior
TPS_5.3	Armario de retorno de vía	Interior
TPS_6.1	Autoválvulas de 110 KV	Interior
TPS_6.2	Autoválvulas de 27,5 / 10 kV	Interior
TPS_7.1	Transformadores de potencia de 110 / 27,5kV (DLB)	Interior
TPS_7.2	Transformadores de potencia de 27,5 / 0,4kV (SRT)	Interior
TPS_7.3	Transformadores de potencia de 0,4/ 10kV (AB)	Interior
TPS_9.1	Celdas de tracción GIS (55 / 27,5 kV)	Interior
TPS_9.2	Celdas DLB GIS (27,5 kV)	Interior

TPS_10	Celdas AB GIS (10 kV)	Interior
TPS_11.1	Seccionador catenaria-feeder de 55 / 27,5 kV	Interior
TPS_12	Sistema de protección y control	Interior
TPS_13	Servicios auxiliares de los transformadores	Interior
TPS_14	Rectificadores, baterías y UPS	Interior
TPS_15	Cuadro eléctrico AC, DC	Interior
TPS_16	Cables aéreos y soportes(embarrados)	Exterior
TPS_17.1	Cables de media tensión	Exterior
TPS_17.2	Cables de baja tensión	Exterior
TPS_18	Fibra óptica	Exterior
TPS_19	Terminaciones de los cables	Exterior
TPS_20	Accesorios, aisladores y piezas de conexión	Interior
TPS_21	Edificio prefabricado	Exterior
TPS_22 & 23	Estructuras metálicas y pernos de anclaje	Exterior
TPS_25	Pararrayos y Puntas Franklin	Exterior
TPS_26	Material de obra civil (tuberías, drenaje, etc.)	Exterior
TPS_27	Material de la red de tierra	Exterior
TPS_28	Tornillos, pernos, etc.	Exterior
TPS_29	Otros materiales	Exterior

Tabla 25: Almacenaje del equipamiento y material de la subestación de Lentvaris

Siguiendo el Plan de Control elaborado por el suministrador, es importante realizar un seguimiento adecuado de la llegada de los equipos al almacén y en especial aquellos suministros que requieren de entregas parciales. El técnico de almacén debe comprobar que el material llega a tiempo siguiendo nuestra planificación y la planificación interna del fabricante. Además, el almacenaje de los suministros debe ser acorde a las recomendaciones proporcionadas por el proveedor para garantizar su correcto funcionamiento durante toda la vida útil del equipo.

5.6. GESTIÓN DE TIEMPOS

Para establecer la duración de las fases del Plan de Compras explicadas en el apartado 5.4 se elaboró una medición de tiempos de ofertas preliminares de seccionadores (TPS_4.1) y transformadores de 110 kV (TPS_7.1) y estructuras metálicas (TPS_22). Una vez analizadas estas ofertas se establecieron los siguientes tiempos medios de cada tarea:

<i>Tarea</i>	<i>Takt time</i>
<i>Petición de Oferta</i>	3 días
<i>Elaboración de la Oferta</i>	15 días
<i>Revisión Técnica y de Calidad</i>	15 días
<i>Revisión Económica</i>	5 días
<i>Comparativo</i>	5 días
<i>Shortlist</i>	3 días
<i>Negociación y propuesta de adjudicación</i>	4 días
<i>Días extra</i>	10 días
<i>TOTAL</i>	60 días

Tabla 26: Estimación de los tiempos del Proceso de Compras

Cabe destacar que, aunque la muestra para la obtención de los tiempos de respuesta no es muy significativa, se tratan de los suministros de mayor complejidad (equipamiento de alta y obra civil) por lo que se estima que los tiempos para cada uno de los equipos y materiales restantes sea igual o menor a los de TPS_4.1, 7.1 y 22.

Además se han añadido 10 días restantes debido a la alta probabilidad de que las primeras ofertas técnicas no cumplan en su totalidad con las especificaciones establecidas en el diseño. De esta manera se dispone de días suficientes para que los proveedores modifiquen sus ofertas teniendo en cuenta los comentarios del departamento de Ingeniería.

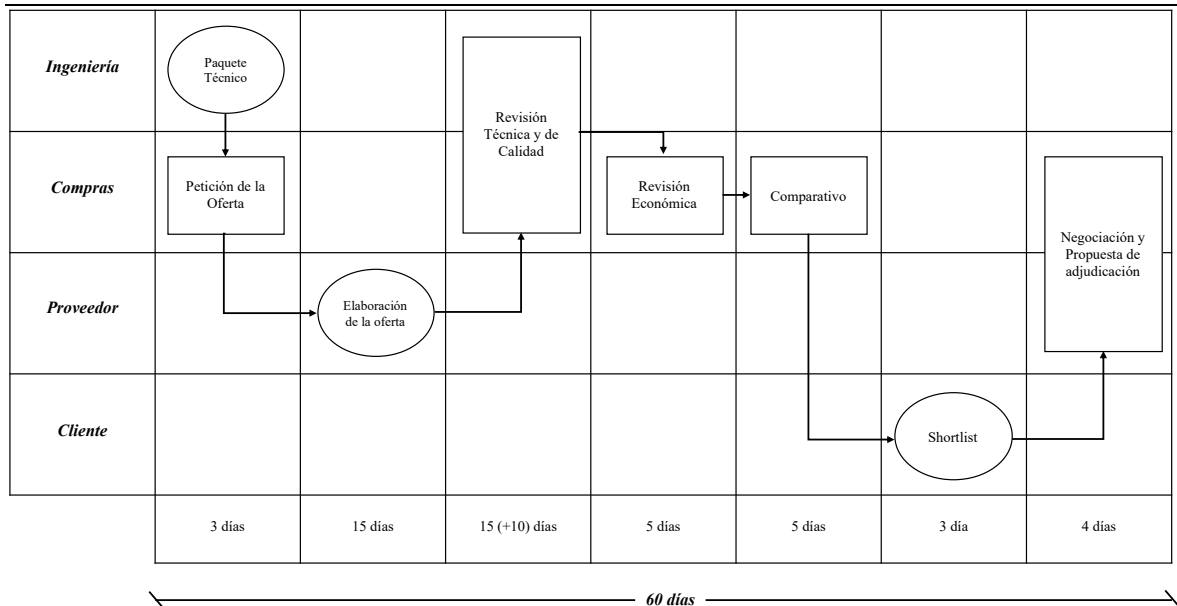


Figura 24: Mapa en función del tiempo del Proceso de Compras

En cuanto a las tareas del Plan de Logística de cada ítem, a continuación se muestran los tiempos estimados según previas experiencias de otros proyectos:

<i>Tarea</i>	<i>Takt time</i>
<i>Aprobación de los documentos técnicos</i>	15 días
<i>Tiempo de espera fabricación</i>	15 días
<i>Fabricación del suministro</i>	Consultar Tabla 23
<i>Ensayos FAT, empaquetado y carga del suministro</i>	15 días
<i>Transporte del material</i>	30 días
<i>Llegada al almacén, descarga e inspección del material</i>	15 días
TOTAL	90 días + Fabricación

Tabla 27: Estimación de los tiempos del Proceso de Logística

Una vez definida cada una de las fases del plan de Compras y Logística de la subestación y conocidas las fechas de llegada de cada suministro, se puede obtener la fecha prevista del comienzo de cada una de las tareas del Plan de Compras y Logística, hasta la fecha límite de llegada del Paquete Técnico.

Se ha elaborado un Diagrama de Gantt de todo el proceso de la cadena de suministro. Conocida la fecha de inicio del Plan de Compras, 25 de enero de 2021, cada uno de los ítems se ha dividido en los siguientes subprocesos:

- Pedido de compras, duración total de 60 días.
- Fabricación del suministro, duración total teniendo en cuenta la Tabla 23.
- Logística, duración total de 90 días.

Id	Modo de tarea	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras	Sucesoras	Gantt Chart																										
								sep	tri 4, 2020	oct	nov	dic	ene	tri 1, 2021	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	tri 4, 2021	oct	nov	dic	ene	tri 1, 2022	feb	mar	abr	may	jun	jul
1		Comienzo Plan de Compras y Logística	0 días	lun 25/01/21	lun 25/01/21		3;8;13;18;22;27;31;35	25/01																										
2		TPS_27	210 días	mié 14/04/21	mar 01/02/22			[Gantt bar for TPS_27]																										
3		Pedido de compra TPS_27	60 días	mié 14/04/21	mar 06/07/21	1	4	[Gantt bar for Pedido de compra TPS_27]																										
4		Fabricación	60 días	mié 07/07/21	mar 28/09/21	3	5	[Gantt bar for Fabricación]																										
5		Logística	90 días	mié 29/09/21	mar 01/02/22	4	6	[Gantt bar for Logística]																										
6		Movimiento de tierras y red de puesta a tierras	0 días	mar 01/02/22	mar 01/02/22	5;1	11	01/02																										
7		TPS_22&23	270 días	mar 16/02/21	lun 28/02/22			[Gantt bar for TPS_22&23]																										
8		Pedido de compra	60 días	mar 16/02/21	lun 10/05/21	1	9	[Gantt bar for Pedido de compra]																										
9		Fabricación	120 días	mar 11/05/21	lun 25/10/21	8	10	[Gantt bar for Fabricación]																										
10		Logística	90 días	mar 26/10/21	lun 28/02/22	9	11	[Gantt bar for Logística]																										
11		Excavaciones y cimentaciones de los equipos principales	0 días	lun 28/02/22	lun 28/02/22	6;10	16	28/02																										
12		TPS_26	210 días	lun 28/06/21	vie 15/04/22			[Gantt bar for TPS_26]																										
13		Pedido de compra	60 días	lun 28/06/21	vie 17/09/21	1	14	[Gantt bar for Pedido de compra]																										
14		Fabricación	60 días	lun 20/09/21	vie 10/12/21	13	15	[Gantt bar for Fabricación]																										
15		Logística	90 días	lun 13/12/21	vie 15/04/22	14	16	[Gantt bar for Logística]																										
16		Drenajes, hormigón, tubos, acero corrugado	0 días	sáb 16/04/22	sáb 16/04/22	15;11	25	16/04																										
17		TPS_21	285 días	mar 30/03/21	lun 02/05/22			[Gantt bar for TPS_21]																										
18		Pedido de compra	60 días	mar 30/03/21	lun 21/06/21	1	19	[Gantt bar for Pedido de compra]																										
19		Fabricación	135 días	mar 22/06/21	lun 27/12/21	18	20	[Gantt bar for Fabricación]																										
20		Logística	90 días	mar 28/12/21	lun 02/05/22	19	25	[Gantt bar for Logística]																										
21		TPS_28	180 días	mar 24/08/21	lun 02/05/22			[Gantt bar for TPS_28]																										
22		Pedido de compra	60 días	mar 24/08/21	lun 15/11/21	1	23	[Gantt bar for Pedido de compra]																										
23		Fabricación	30 días	mar 16/11/21	lun 27/12/21	22	24	[Gantt bar for Fabricación]																										
24		Logística	90 días	mar 28/12/21	lun 02/05/22	23	25	[Gantt bar for Logística]																										
25		Instalación del edificio prefabricado	0 días	lun 02/05/22	lun 02/05/22	20;24;16	74	02/05																										
26		TPS_3.1	360 días	mar 02/02/21	lun 20/06/22			[Gantt bar for TPS_3.1]																										
27		Pedido de compra	60 días	mar 02/02/21	lun 26/04/21	1	28	[Gantt bar for Pedido de compra]																										
28		Fabricación	210 días	mar 27/04/21	lun 14/02/22	27	29	[Gantt bar for Fabricación]																										
29		Logística	90 días	mar 15/02/22	lun 20/06/22	28	74	[Gantt bar for Logística]																										
30		TPS_4.1	300 días	mar 27/04/21	lun 20/06/22			[Gantt bar for TPS_4.1]																										
31		Pedido de compra	60 días	mar 27/04/21	lun 19/07/21	1	32	[Gantt bar for Pedido de compra]																										
32		Fabricación	150 días	mar 20/07/21	lun 14/02/22	31	33	[Gantt bar for Fabricación]																										
33		Logística	90 días	mar 15/02/22	lun 20/06/22	32	74	[Gantt bar for Logística]																										
34		TPS_4.2	300 días	mar 27/04/21	lun 20/06/22			[Gantt bar for TPS_4.2]																										
35		Pedido de compra	60 días	mar 27/04/21	lun 19/07/21	1	36	[Gantt bar for Pedido de compra]																										
36		Fabricación	150 días	mar 20/07/21	lun 14/02/22	35	37	[Gantt bar for Fabricación]																										
37		Logística	90 días	mar 15/02/22	lun 20/06/22	36	74	[Gantt bar for Logística]																										
38		TPS_5.1	330 días	mar 16/03/21	lun 20/06/22			[Gantt bar for TPS_5.1]																										
39		Pedido de compra	60 días	mar 16/03/21	lun 07/06/21	1	40	[Gantt bar for Pedido de compra]																										
40		Fabricación	180 días	mar 08/06/21	lun 14/02/22	39	41	[Gantt bar for Fabricación]																										
41		Logística	90 días	mar 15/02/22	lun 20/06/22	40	74	[Gantt bar for Logística]																										
42		TPS_5.2	330 días	mar 16/03/21	lun 20/06/22			[Gantt bar for TPS_5.2]																										
43		Pedido de compra	60 días	mar 16/03/21	lun 07/06/21	1	44	[Gantt bar for Pedido de compra]																										
44		Fabricación	180 días	mar 08/06/21	lun 14/02/22	43	45	[Gantt bar for Fabricación]																										
45		Logística	90 días	mar 15/02/22	lun 20/06/22	44	74	[Gantt bar for Logística]																										
46		TPS_5.3	330 días	mar 16/03/21	lun 20/06/22			[Gantt bar for TPS_5.3]																										
47		Pedido de compra	60 días	mar 16/03/21	lun 07/06/21	1	48	[Gantt bar for Pedido de compra]																										
48		Fabricación	180 días	mar 08/06/21	lun 14/02/22	47	49	[Gantt bar for Fabricación]																										
49		Logística	90 días	mar 15/02/22	lun 20/06/22	48	74	[Gantt bar for Logística]																										
50		TPS_6.1	300 días	mar 27/04/21	lun 20/06/22			[Gantt bar for TPS_6.1]																										
51		Pedido de compra	60 días	mar 27/04/21	lun 19/07/21	1	52	[Gantt bar for Pedido de compra]																										
52		Fabricación	150 días	mar 20/07/21	lun 14/02/22	51	53	[Gantt bar for Fabricación]																										
53		Logística	90 días	mar 15/02/22	lun 20/06/22	52	74	[Gantt bar for Logística]																										
54		TPS_6.2	300 días	mar 27/04/21	lun 20/06/22			[Gantt bar for TPS_6.2]																										
55		Pedido de compra	60 días	mar 27/04/21	lun 19/07/21	1	56	[Gantt bar for Pedido de compra]																										
56		Fabricación	150 días	mar 20/07/21	lun 14/02/22	55	57	[Gantt bar for Fabricación]																										
57		Logística	90 días	mar 15/02/22	lun 20/06/22	56	74	[Gantt bar for Logística]																										
58		TPS_11.1	300 días	mar 27/04/21	lun 20/06/22			[Gantt bar for TPS_11.1]																										
59		Pedido de compra	60 días	mar 27/04/21	lun 19/07/21	1	60	[Gantt bar for Pedido de compra]																										
60		Fabricación	150 días	mar 20/07/21	lun 14/02/22	59	61	[Gantt bar for Fabricación]																										
61		Logística	90 días	mar 15/02/22	lun 20/06/22	60	74	[Gantt bar for Logística]																										
62		TPS_16	210 días	mar 31/08/21	lun 20/06/22			[Gantt bar for TPS_16]																										
63		Pedido de compra	60 días	mar 31/08/21	lun 22/11/21	1	64	[Gantt bar for Pedido de compra]																										
64		Fabricación	60 días	mar 23/11/21	lun 14/02/22	63	65	[Gantt bar for Fabricación]																										
65		Logística	90 días	mar 15/02/22	lun 20/06/22	64	74	[Gantt bar for Logística]																										
66		TPS_20	210 días	mar 31/08/21	lun 20/06/22			[Gantt bar for TPS_20]																										
67		Pedido de compra	60 días	mar 31/08/21	lun 22/11/21	1	68	[Gantt bar for Pedido de compra]																										
68		Fabricación	60 días	mar 23/11/21	lun 14/02/22	67	69	[Gantt bar for Fabricación]																										
69		Logística	90 días	mar 15/02/22	lun 20/06/22	68	74	[Gantt bar for Logística]																										
70		TPS_25	210 días	mar 31/08/21	lun 20/06/22			[Gantt bar for TPS_25]																										
71		Pedido de compra	60 días	mar 31/08/21	lun 22/11/21	1	72	[Gantt bar for Pedido de compra]																										
72		Fabricación	60 días	mar 23/11/21	lun 14/02/22	71	73	[Gantt bar for Fabricación]																										
73		Logística	90 días	mar 15/02/22	lun 20/06/22	72	74	[Gantt bar for Logística]																										
74		Aparata exterior de 110 kV	0 días	lun 20/06/22	lun 20/06/22	29;33;37;41;45;49	79	20/06																										
75		TPS_1	383 días	jue 04/02/21	lun 25/07/22			[Gantt bar for TPS_1]																										

Además, tal y como se observa en el gráfico se han establecido en el diagrama cada uno de los hitos de construcción y, teniendo en cuenta las fechas que aplican a cada ítem del Plan de Compras (Tabla 13), se han podido establecer las fechas límites para la llegada de los Paquetes Técnicos, en rojo. En el gráfico, además, se puede observar la holgura de cada uno de los suministros, en gris; y el avance que se puede dar, en negro. Se observa que muchos de los suministros disponen de tiempo suficiente hasta su llegada a construcción mientras que otros tienen una holgura muy pequeña. Para poder gestionar los recursos de una forma eficiente, se ha ordenado el diagrama según las fechas límite de llegada de los Paquetes Técnicos y se ha establecido la siguiente tabla de prioridades:

Id	Modo de tarea	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras	Sucesoras	Gantt Chart																				
								sep	oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may
108		Fabricación	180 días	vie 01/10/21	jue 09/06/22	107	109	[Gantt bar for TPS_10]																				
109		Logística	90 días	vie 10/06/22	jue 13/10/22	108	110	[Gantt bar for TPS_10]																				
101		TPS_9.2	314 días	mar 20/07/21	vie 30/09/22			[Gantt bar for TPS_9.2]																				
102		Pedido de compra	60 días	mar 20/07/21	lun 09/08/21	1	103	[Gantt bar for TPS_9.2]																				
103		Fabricación	210 días	lun 09/08/21	vie 27/05/22	102	104	[Gantt bar for TPS_9.2]																				
104		Logística	90 días	lun 30/05/22	vie 30/09/22	103	105	[Gantt bar for TPS_9.2]																				
111		TPS_12	330 días	lun 26/07/21	vie 28/10/22			[Gantt bar for TPS_12]																				
112		Pedido de compra	60 días	lun 26/07/21	vie 15/10/21	1	113	[Gantt bar for TPS_12]																				
113		Fabricación	180 días	lun 18/10/21	vie 24/06/22	112	114	[Gantt bar for TPS_12]																				
114		Logística	90 días	lun 27/06/22	vie 28/10/22	113	131	[Gantt bar for TPS_12]																				
21		TPS_28	180 días	mar 24/08/21	lun 02/05/22			[Gantt bar for TPS_28]																				
22		Pedido de compra	60 días	mar 24/08/21	lun 15/11/21	1	23	[Gantt bar for TPS_28]																				
23		Fabricación	30 días	mar 16/11/21	lun 27/12/21	22	24	[Gantt bar for TPS_28]																				
24		Logística	90 días	mar 28/12/21	lun 02/05/22	23	25	[Gantt bar for TPS_28]																				
62		TPS_16	210 días	mar 31/08/21	lun 20/06/22			[Gantt bar for TPS_16]																				
63		Pedido de compra	60 días	mar 31/08/21	lun 22/11/21	1	64	[Gantt bar for TPS_16]																				
64		Fabricación	60 días	mar 23/11/21	lun 14/02/22	63	65	[Gantt bar for TPS_16]																				
65		Logística	90 días	mar 15/02/22	lun 20/06/22	64	74	[Gantt bar for TPS_16]																				
66		TPS_20	210 días	mar 31/08/21	lun 20/06/22			[Gantt bar for TPS_20]																				
67		Pedido de compra	60 días	mar 31/08/21	lun 22/11/21	1	68	[Gantt bar for TPS_20]																				
68		Fabricación	60 días	mar 23/11/21	lun 14/02/22	67	69	[Gantt bar for TPS_20]																				
69		Logística	90 días	mar 15/02/22	lun 20/06/22	68	74	[Gantt bar for TPS_20]																				
70		TPS_25	210 días	mar 31/08/21	lun 20/06/22			[Gantt bar for TPS_25]																				
71		Pedido de compra	60 días	mar 31/08/21	lun 22/11/21	1	72	[Gantt bar for TPS_25]																				
72		Fabricación	60 días	mar 23/11/21	lun 14/02/22	71	73	[Gantt bar for TPS_25]																				
73		Logística	90 días	mar 15/02/22	lun 20/06/22	72	74	[Gantt bar for TPS_25]																				
119		TPS_14	285 días	lun 27/09/21	vie 28/10/22			[Gantt bar for TPS_14]																				
120		Pedido de compra	60 días	lun 27/09/21	vie 17/12/21	1	121	[Gantt bar for TPS_14]																				
121		Fabricación	135 días	lun 20/12/21	vie 24/06/22	120	122	[Gantt bar for TPS_14]																				
122		Logística	90 días	lun 27/06/22	vie 28/10/22	121	131	[Gantt bar for TPS_14]																				
123		TPS_15	285 días	lun 27/09/21	vie 28/10/22			[Gantt bar for TPS_15]																				
124		Pedido de compra	60 días	lun 27/09/21	vie 17/12/21	1	125	[Gantt bar for TPS_15]																				
125		Fabricación	135 días	lun 20/12/21	vie 24/06/22	124	126	[Gantt bar for TPS_15]																				
126		Logística	90 días	lun 27/06/22	vie 28/10/22	125	131	[Gantt bar for TPS_15]																				
115		TPS_13	270 días	lun 18/10/21	vie 28/10/22			[Gantt bar for TPS_13]																				
116		Pedido de compra	60 días	lun 18/10/21	vie 07/01/22	1	117	[Gantt bar for TPS_13]																				
117		Fabricación	120 días	lun 10/01/22	vie 24/06/22	116	118	[Gantt bar for TPS_13]																				
118		Logística	90 días	lun 27/06/22	vie 28/10/22	117	131	[Gantt bar for TPS_13]																				
132		TPS_17.1	240 días	lun 29/11/21	vie 28/10/22			[Gantt bar for TPS_17.1]																				
133		Pedido de compra	60 días	lun 29/11/21	vie 18/02/22	1	134	[Gantt bar for TPS_17.1]																				
134		Fabricación	90 días	lun 21/02/22	vie 24/06/22	133	135	[Gantt bar for TPS_17.1]																				
135		Logística	90 días	lun 27/06/22	vie 28/10/22	134	140	[Gantt bar for TPS_17.1]																				
141		TPS_17.2	240 días	lun 20/12/21	vie 18/11/22			[Gantt bar for TPS_17.2]																				
142		Pedido de compra	60 días	lun 20/12/21	vie 11/03/22	1	143	[Gantt bar for TPS_17.2]																				
143		Fabricación	90 días	lun 14/03/22	vie 15/07/22	142	144	[Gantt bar for TPS_17.2]																				
144		Logística	90 días	lun 18/07/22	vie 18/11/22	143	149	[Gantt bar for TPS_17.2]																				
145		TPS_18	240 días	lun 20/12/21	vie 18/11/22			[Gantt bar for TPS_18]																				
146		Pedido de compra	60 días	lun 20/12/21	vie 11/03/22	1	147	[Gantt bar for TPS_18]																				
147		Fabricación	90 días	lun 14/03/22	vie 15/07/22	146	148	[Gantt bar for TPS_18]																				
148		Logística	90 días	lun 18/07/22	vie 18/11/22	147	149	[Gantt bar for TPS_18]																				
136		TPS_19	210 días	lun 10/01/22	vie 28/10/22			[Gantt bar for TPS_19]																				
137		Pedido de compra	60 días	lun 10/01/22	vie 01/04/22	1	138	[Gantt bar for TPS_19]																				
138		Fabricación	60 días	lun 04/04/22	vie 24/06/22	137	139	[Gantt bar for TPS_19]																				
139		Logística	90 días	lun 27/06/22	vie 28/10/22	138	140	[Gantt bar for TPS_19]																				
6		Movimiento de tierras y red de puesta a tierras	0 días	mar 01/02/22	mar 01/02/22	5;1	11	[Gantt bar for TPS_19]																				
127		TPS_29	180 días	lun 21/02/22	vie 28/10/22			[Gantt bar for TPS_29]																				
128		Pedido de compra	60 días	lun 21/02/22	vie 13/05/22	1	129	[Gantt bar for TPS_29]																				
129		Fabricación	30 días	lun 16/05/22	vie 24/06/22	128	130	[Gantt bar for TPS_29]																				
130		Logística	90 días	lun 27/06/22	vie 28/10/22	129	131	[Gantt bar for TPS_29]																				
11		Excavaciones y cimentaciones de los equipos principales	0 días	lun 28/02/22	lun 28/02/22	6;10	16	[Gantt bar for TPS_29]																				
16		Drenajes, hormigón, tubos, acero corrugado	0 días	sáb 16/04/22	sáb 16/04/22	15;11	25	[Gantt bar for TPS_29]																				
25		Instalación del edificio prefabricado	0 días	lun 02/05/22	lun 02/05/22	20;24;16	74	[Gantt bar for TPS_29]																				
74		Aparamiento exterior de 110 kV	0 días	lun 20/06/22	lun 20/06/22	29;33;37;41;45;49;79		[Gantt bar for TPS_29]																				
79		Construcción y montaje de los SFCs	0 días	lun 25/07/22	lun 25/07/22	78;74	92	[Gantt bar for TPS_29]																				
92		Transformadores de potencia de 110 a 10 kV	0 días	vie 30/09/22	vie 30/09/22	83;87;91;79	105	[Gantt bar for TPS_29]																				
105		Celdas GIS de 55/27.5 kV	0 días	vie 30/09/22	vie 30/09/22	100;104;92;96	110	[Gantt bar for TPS_29]																				
110		Celdas GIS de 10 kV	0 días	jue 13/10/22	jue 13/10/22	109;105	131	[Gantt bar for TPS_29]																				
131		Equipos de interior	0 días	vie 28/10/22	vie 28/10/22	114;118;122;126;140		[Gantt bar for TPS_29]																				
140		Tendido y conexiones de cables de media tensión	0 días	vie 28/10/22	vie 28/10/22	135;139;131	149	[Gantt bar for TPS_29]																				
149		Tendido y conexiones de cables de baja tensión	0 días	lun 21/11/22	lun 21/11/22	144;148;140		[Gantt bar for TPS_29]																				

<i>Orden de prioridad de los ítems</i>	<i>Fecha límite de llegada del Paquete Técnico</i>
<i>TPS 3.1</i>	<i>02/02/21</i>
<i>TPS 1</i>	<i>04/02/21</i>
<i>TPS 22&23</i>	<i>16/02/21</i>
<i>TPS 5.1</i>	<i>16/03/21</i>
<i>TPS 5.2</i>	<i>16/03/21</i>
<i>TPS 5.3</i>	<i>16/03/21</i>
<i>TPS 21</i>	<i>30/03/21</i>
<i>TPS 27</i>	<i>14/04/21</i>
<i>TPS 4.1</i>	<i>27/04/21</i>
<i>TPS 4.2</i>	<i>27/04/21</i>
<i>TPS 6.1</i>	<i>27/04/21</i>
<i>TPS 6.2</i>	<i>27/04/21</i>
<i>TPS 11.1</i>	<i>27/04/21</i>
<i>TPS 7.1</i>	<i>17/05/21</i>
<i>TPS 7.2</i>	<i>17/05/21</i>
<i>TPS 7.3</i>	<i>17/05/21</i>
<i>TPS 3.2</i>	<i>17/05/21</i>
<i>TPS 9.1</i>	<i>17/05/21</i>
<i>TPS 26</i>	<i>28/06/21</i>
<i>TPS 10</i>	<i>09/07/21</i>
<i>TPS 9.2</i>	<i>20/07/21</i>
<i>TPS 12</i>	<i>26/07/21</i>
<i>TPS 28</i>	<i>24/08/21</i>
<i>TPS 16</i>	<i>31/08/21</i>
<i>TPS 20</i>	<i>31/08/21</i>
<i>TPS 25</i>	<i>31/08/21</i>
<i>TPS 14</i>	<i>27/09/21</i>
<i>TPS 15</i>	<i>27/09/21</i>
<i>TPS 13</i>	<i>18/10/21</i>
<i>TPS 17.1</i>	<i>29/11/21</i>
<i>TPS 17.2</i>	<i>20/12/21</i>
<i>TPS 18</i>	<i>20/12/21</i>
<i>TPS 19</i>	<i>10/01/22</i>
<i>TPS 29</i>	<i>21/02/22</i>

Tabla 28: Prioridades de los ítems del Plan de Compras de la subestación

5.6 ESTUDIO DE COSTES

Además, se ha realizado un estudio de los costes de cada uno de los suministros. Estos precios han sido calculados a través de ofertas preliminares y estimaciones. Además de incluir los precios de los equipos y materiales se ha tenido en cuenta el transporte a Vilnius, Lituania. En la Tabla 29 se observa la sintaxis de este estudio realizado.

<i>Ítem</i>	<i>Equipamiento</i>	<i>Coste previsto</i>
TPS_1	Convertidores estáticos de frecuencia	4.800.000 €
TPS_3.1	Interruptores de 110 kV	51.581 €
TPS_3.2	Combinado de interruptores y DSB de 27,5 kV	22345 €
TPS_4.1	Seccionadores de 110 kV	48.623 €
TPS_4.2	Seccionadores de 27,5 kV	11.734 €
TPS_5.1	Transformadores de Intensidad de 110 kV	98.434 €
	Transformadores de Tensión de 110 kV	90.471 €
	Transformadores de medida de 110 KV	188.905 €
TPS_5.2	Transformadores de medida de 27,5 KV	9.839 €
TPS_5.3	Armario de retorno de vía	7.626 €
TPS_6.1	Autoválvulas de 110 KV	13.947 €
TPS_6.2	Autoválvulas de 27,5 / 10 kV	6.309 €
TPS_7.1	Transformadores de potencia de 110 /27,5kV (DLB)	479.000 €
TPS_7.2	Transformadores de potencia de 27,5 / 0,4kV (SRT)	79.833 €
TPS_7.3	Transformadores de potencia de 0,4/ 10kV (AB)	23.950 €
TPS_9.1	Celdas de tracción GIS (55 / 27,5 kV)	658.875 €
TPS_9.2	Celdas DLB GIS (27,5 kV)	939.500 €
TPS_10	Celdas AB GIS (10 kV)	170.254 €
TPS_11.1	Seccionador catenaria-feeder de 55 / 27,5 kV	16.297 €
TPS_12	Sistema de protección y control	39.779 €
TPS_13	Servicios auxiliares de los transformadores	120.694 €
TPS_14	Rectificadores, baterías y UPS	72.824 €
TPS_15	Cuadro eléctrico AC, DC	7.423 €
TPS_16	Cables aéreos y soportes(embarrados)	243.529 €
TPS_17.1	Cables de media tensión	121.765 €
TPS_17.2	Cables de baja tensión	111.952 €
TPS_18	Fibra óptica	6.750 €
TPS_19	Terminaciones de los cables	60.415 €

TPS_20	Accesorios, aisladores y piezas de conexión	71.280 €
TPS_21	Edificio prefabricado	377.792 €
TPS_22 & 23	Estructuras metálicas y pernos de anclaje	63.700 €
TPS_25	Pararrayos y Puntas Franklin	10.346 €
TPS_26	Material de obra civil (tuberías, drenaje, etc.)	66.359 €
TPS_27	Material de la red de tierra	62.826 €
TPS_28	Tornillos, pernos, etc.	2.495 €
TPS_29	Otros materiales	7.913 €

Tabla 29: Coste previsto de cada uno de los ítems del Plan de Compras de la subestación

Teniendo en cuenta el diagrama de Gantt estudiado en el apartado anterior y suponiendo que los pagos se realizan por anticipado al realizarse la Orden de Compra se ha elaborado el siguiente diagrama del coste acumulado del proyecto.

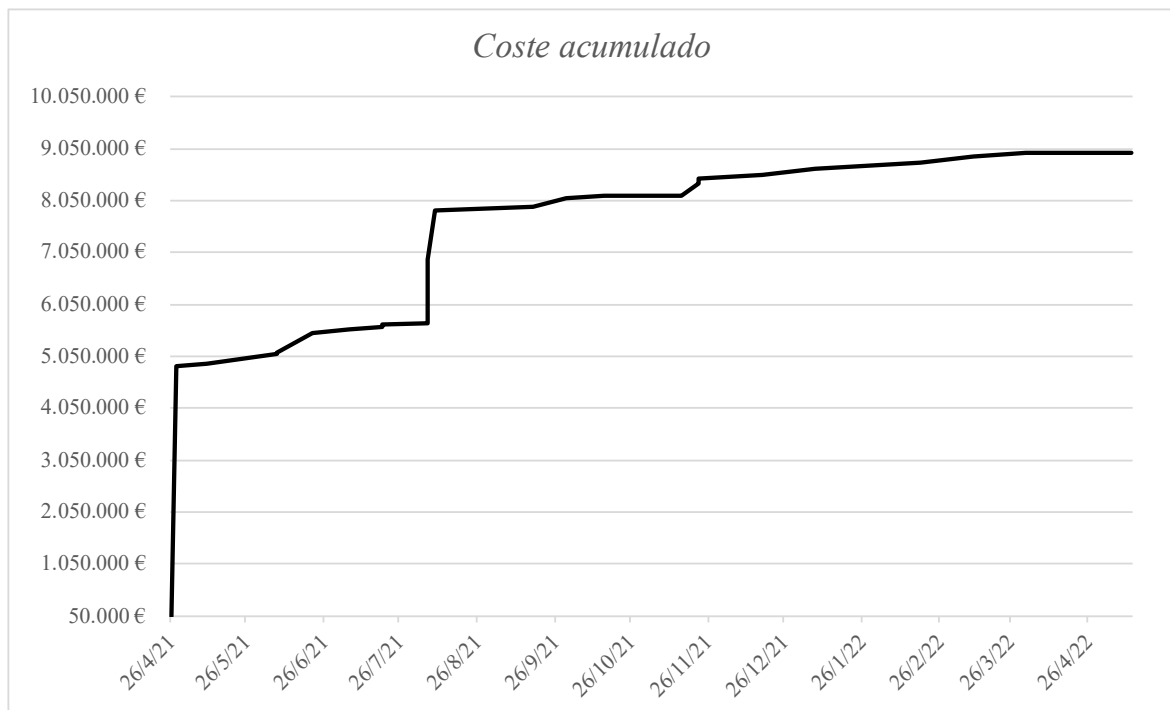


Gráfico 1: Coste acumulado de la Cadena de Suministro de la subestación

5.7 ANÁLISIS DE RIESGOS

Por último, se ha querido realizar un análisis de los riesgos críticos de cada una de las etapas el proceso de compras y logística. Las fases para realizar un estudio de riesgos eficaz del proyecto completo se muestran en los siguientes apartados:

5.7.1 IDENTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE RIESGOS

En la Tabla 30 y Tabla 31, se han dividido los riesgos según la fase correspondiente, se han establecido sus posibles causas y consecuencias, y se han valorado según su probabilidad e impacto, tomando como valor máximo 6. Los riesgos estudiados pueden afectar a cuatro parámetros diferentes: tiempo, coste, calidad y alcance.

PROCESO DE COMPRAS

	ID	Descripción	Causa	Efecto	Métrica	Probabilidad	Impacto	Riesgo
Elaboración del Paquete Técnico	A	El Paquete Técnico se ha recibido más tarde de la fecha prevista	Problemas en el diseño	Retraso en la llegada del paquete a construcción	Tiempo	4	4	16
Petición de Oferta	B	El número de proveedores encontrados en el estudio de mercado es muy pequeño	Equipamiento no estándar o con peculiaridades	Menor calidad y menos opciones de toma de decisiones del proveedor adjudicatario	Calidad y coste	1	3	3
Elaboración de la oferta	C	El número de proveedores que pueden ofertar es muy pequeño	Equipamiento no estándar o con peculiaridades	Menor calidad y menos opciones de toma de decisiones del proveedor adjudicatario	Calidad y coste	2	3	6
	D	Los proveedores tardan más del tiempo previsto para elaborar la oferta	Disponibilidad de la empresa proveedora	Retraso en la planificación	Tiempo	2	4	8
Revisión Técnica	E	El número de proveedores que cumplen técnicamente es muy pequeño	Equipamiento no estándar o con peculiaridades	Menor calidad y menos opciones de toma de decisiones del proveedor adjudicatario	Calidad y coste	3	3	9
	F	Modificaciones en las especificaciones técnicas	Estudio de las ofertas de proveedores	Volver a la fase de petición de Oferta	Tiempo	1	4	4
	G	El tiempo de revisión es más largo de lo estimado	Recursos limitados en el departamento de ingeniería	Retraso en la planificación	Tiempo	3	4	12
Revisión Económica	H	El número de proveedores que cumplen económicamente es muy pequeño	Equipamiento no estándar o con peculiaridades	Menor calidad y menos opciones de toma de decisiones del proveedor adjudicatario	Calidad y coste	2	3	6
	I	El precio de las ofertas de los proveedores supera el coste previsto	Subida de precio de las materias primas	Aumento del coste	Coste	3	5	15
Revisión de Calidad	J	El número de proveedores que cumple con la normativa de calidad es muy pequeño	Equipamiento no estándar o con peculiaridades	Menor calidad y menos opciones de toma de decisiones del proveedor adjudicatario	Calidad y coste	2	2	4
Elaboración del Comparativo	K	No existe opción válida en términos técnicos/coste/calidad	Equipamiento no estándar o con peculiaridades	No adjudicación del equipo	Alcance, tiempo y coste	1	6	6
Short List	L	El cliente no acepta a alguno de los proveedores propuestos	Problemas con la empresa proveedora	Menor calidad y menos opciones de toma de decisiones del proveedor adjudicatario	Calidad y coste	1	4	4
Negociación y Propuesta de Adjudicación	M	No se obtiene la mejor oferta del proveedor adjudicatario	Falta de capacidad de negociación	Adjudicación del equipo a un precio mayor	Coste	2	2	4

Tabla 30: Estudio de riesgos del Proceso de Compras

PROCESO DE LOGÍSTICA

	ID	Descripción	Causa	Efecto	Métrica	Probabilidad	Impacto	Riesgo
Aprobación de documentación técnica	N	Documentación técnica no es aceptada	Fallo en la fase de revisión técnica	Retroceso a la fase de revisión técnica	Tiempo y coste	1	5	5
Fabricación	Ñ	El tiempo de fabricación es mayor al estimado	El proveedor no cumple con los periodos de fabricación	Retraso en la instalación del equipamiento	Tiempo	3	3	9
Ensayos FAT	O	El suministro no supera las pruebas FAT	El equipo no cumple con las especificaciones prometidas en el contrato	Retraso en la fabricación	Calidad y tiempo	2	5	10
Logística del equipamiento	P	Equipo extraviado en condiciones DAP	Seguimiento del pedido inadecuado	Volver a la fase de fabricación	Tiempo	2	5	10
	Q	Equipo extraviado en condiciones EXW	Seguimiento del pedido inadecuado	Volver a la fase de fabricación	Tiempo y coste	2	6	12
Inspección del material	R	Daños en el equipo durante el transporte en condiciones DAP	Embalaje inadecuado para el transporte	Reparación del equipamiento	Calidad y tiempo	5	3	15
	S	Daños en el equipo durante el transporte en condiciones EXW	Embalaje inadecuado para el transporte	Reparación del equipamiento	Calidad, tiempo y coste	5	4	20
Comienzo de la construcción	T	El equipo no llega a tiempo para la construcción	Retraso en las fases previas	Retraso en la construcción	Tiempo	4	4	16

Tabla 31: Estudio de riesgos del Proceso de Logística

Además, se ha elaborado una matriz incluyendo estos riesgos, para poder realizar una comparativa de cada uno de ellos y establecer un plan de acción según la situación crítica en la que se encuentren:

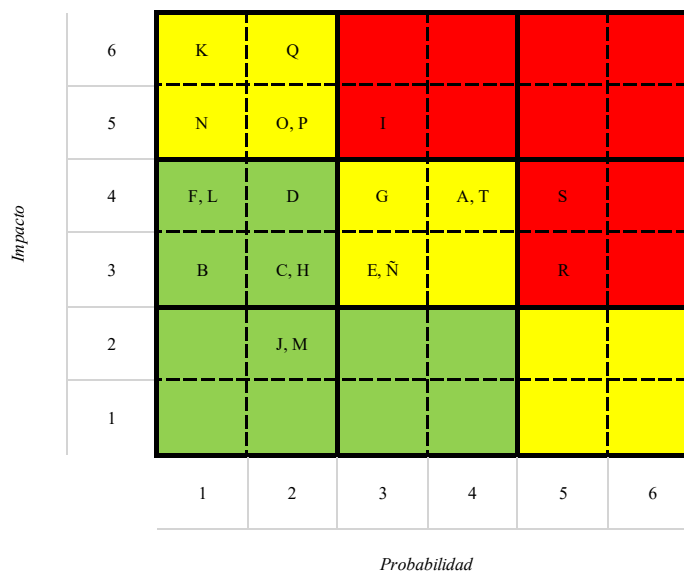


Gráfico 2: Matriz de riesgos del proceso

<i>Clasificación de riesgos</i>	<i>ID</i>
<i>Riesgo bajo</i>	B, C, D, F, H, J, L, M
<i>Riesgo medio</i>	A, E, G, K, N, Ñ, O, P, Q, T
<i>Riesgo crítico</i>	I, R, S

Tabla 32: Clasificación de los riesgos estudiados

5.7.2 PLANIFICACIÓN DE LA GESTIÓN DE RIESGOS

Según los parámetros de probabilidad e impacto planteados en el apartado anterior, se ha establecido la forma de actuación de los riesgos estudiados. Este plan de acción se puede clasificar en las siguientes estrategias:

MITIGAR EL RIESGO

Se adoptan diferentes medidas de contingencia para reducir las consecuencias del riesgo a estudiar. Se trata de una estrategia a utilizar para reducir el impacto del riesgo analizado.

EVITAR EL RIESGO

Se trata de una medida de prevención de riesgos puesto que su probabilidad de que ocurran es demasiado elevada.

ACEPTAR EL RIESGO

Si la calificación del riesgo es baja, es probable que realizar una acción contra el riesgo suponga un mayor tiempo u coste en el proyecto. Es por esto por lo que una estrategia de acción será aceptar el riesgo analizado.

Como respuesta a los riesgos de las Tabla 30 y Tabla 31, se han establecido diferentes alternativas:

PROCESO DE COMPRAS

	ID	Riesgo	Descripción	Causa	Estrategia	Tipo de medida	Métrica	Acción
Elaboración del Paquete Técnico	A	16	El Paquete Técnico se ha recibido más tarde de la fecha prevista	Problemas en el diseño	Evitar y mitigar	Prevención y contingencia	Tiempo y coste	Estudio de recursos y plan de aceleración de suministro en las siguientes fases
Petición de Oferta	B	3	El número de proveedores encontrados en el estudio de mercado es muy pequeño	Equipamiento no estándar o con peculiaridades	Aceptar	-	-	-
Elaboración de la oferta	C	6	El número de proveedores que pueden ofertar es muy pequeño	Equipamiento no estándar o con peculiaridades	Aceptar	-	-	-
	D	8	Los proveedores tardan más del tiempo previsto para elaborar la oferta	Disponibilidad de la empresa proveedora	Aceptar	-	-	-
Revisión Técnica	E	9	El número de proveedores que cumplen técnicamente es muy pequeño	Equipamiento no estándar o con peculiaridades	Mitigar	Contingencia	Tiempo	Nuevo estudio de mercado
	F	4	Modificaciones en las especificaciones técnicas	Estudio de las ofertas de proveedores	Aceptar	-	-	-
	G	12	El tiempo de revisión es más largo de lo estimado	Recursos limitados en el departamento de ingeniería	Evitar	Prevención	Coste	Estudio de recursos del departamento de ingeniería
Revisión Económica	H	6	El número de proveedores que cumplen económicamente es muy pequeño	Equipamiento no estándar o con peculiaridades	Aceptar	-	-	-
	I	15	El precio de las ofertas de los proveedores supera el coste previsto	Subida de precio de las materias primas	Mitigar	Contingencia	Tiempo y coste	Estudio del diseño y logística del equipamiento
Revisión de Calidad	J	4	El número de proveedores que cumple con la normativa de calidad es muy pequeño	Equipamiento no estándar o con peculiaridades	Aceptar	-	-	-
Elaboración del Comparativo	K	6	No existe opción válida en términos técnicos/coste/calidad	Equipamiento no estándar o con peculiaridades	Mitigar	Contingencia	Tiempo y coste	Subcontratar instalación
Short List	L	4	El cliente no acepta a uno o dos proveedores propuestos	Problemas con la empresa proveedora	Aceptar	-	-	-
Negociación y Propuesta de Adjudicación	M	4	No se optiene la mejor oferta del proveedor adjudicatario	Falta de capacidad de negociación	Aceptar	-	-	-

Tabla 33: Plan de respuesta ante los riesgos del Proceso de Compras

RIESGO A

El Paquete Técnico se ha recibido más tarde de la fecha prevista

En el diagrama de Gantt estudiado en el apartado anterior se han establecido las fechas límites de llegada de los Paquetes Técnicos. Al tratarse de la primera fase del proceso de compras, el retraso de un Paquete Técnico supone un retraso de todas las fases del proyecto, lo que va a suponer un riesgo crítico en el cumplimiento de tiempos estudiado.

Por ello, se han planteado las siguientes medidas:

- MEDIDA DE PREVENCIÓN

Se debe realizar un estudio detallado de los recursos disponibles teniendo en cuenta las necesidades de diseño del cliente, calculando el número de horas que conlleva realizar el diseño de cada suministro y suponiendo 8 h diarias por cada recurso utilizado.

- **MEDIDA DE CONTINGENCIA**

Para además disminuir el retraso que conlleva la demora del Paquete Técnico del suministro, se plantea realizar un Plan de Aceleración en las siguientes fases del proyecto. Una alternativa podría ser plantear una paralelización de las tareas del Plan de Compras, realizando el estudio económico de las ofertas a la vez que el análisis técnico, a través de una reestructuración de los actuales recursos del departamento.

RIESGO E

El número de proveedores que cumplen técnicamente es muy pequeño

En el apartado 0, se ha establecido un ratio de 3 ofertas validadas técnicamente por cada 4 ofertas presentadas, para poder garantizar la selección del proveedor adecuado para el suministro. A continuación se presenta la solución planteada si se da el riesgo estudiado:

- **MEDIDA DE CONTINGENCIA**

Como medida para mitigar el riesgo se plantea la elaboración de un nuevo estudio de mercado del suministro en cuestión y la petición de nuevas ofertas a un número determinado de proveedores. Además, si en el momento en el que se deba aplicar la medida, se dispusiesen de recursos suficientes en el Departamento de Ingeniería, se podría plantear un análisis del diseño del suministro y estudiar si todos los requerimientos establecidos son críticos o cabe la posibilidad de generar una Orden de Variación del equipo, estableciendo un sistema estándar. Las ofertas de los proveedores pueden servir de apoyo a la hora de realizar este planteamiento. Esta medida depende de la holgura que tiene el equipamiento a comprar. Si no se dispone de tiempo suficiente como para generar la medida de contingencia, se plantea aceptar el riesgo teniendo en cuenta que probablemente suponga un mayor coste en la compra del suministro.

RIESGO G

El tiempo de revisión es más largo que lo estimado

En el estudio de tiempos se ha planteado un tiempo máximo de revisión técnica del proyecto, teniendo en cuenta 10 días extra debido a la probabilidad de que el proveedor necesite realizar actualizaciones de su propuesta técnica hasta cumplir con todos los

requerimientos. Sin embargo, la duración de la revisión técnica depende mucho de lo ofertado por el proveedor.

- MEDIDA DE PREVENCIÓN

Para disminuir el riesgo se aplica la misma medida de prevención que en el riesgo A, realizando un estudio de los recursos disponibles en el Departamento de Ingeniería. Además, como medida adicional, se plantea la incorporación de un recurso encargado de gestionar la interfaz Compras – Ingeniería, para dinamizar la comunicación entre departamentos y evitar en la medida de lo posible que se produzcan varias realimentaciones en las revisiones.

RIESGO I

El precio de las ofertas de los proveedores supera el coste previsto

Si el estudio de costes se ha realizado con suficiente precisión y se han obtenido las ofertas teniendo en cuenta los ratios mencionados en el apartado 0, las causas de este riesgo solo pueden darse debido a causas externas al proyecto como por ejemplo la actual fluctuación del precio de las materias primas.

- MEDIDA DE PREVENCIÓN

Se plantea como solución realiza un estudio del diseño del suministro, para considerar si los parámetros se han sobredimensionado y plantear si medidas pueden ser menos restrictivas. Además se plantea la realización de un análisis de materiales sustitutivos más baratos, menos accesorios en los equipos y un estudio de ahorro logístico en el transporte del material. Si no se dispone de tiempo suficiente para aplicar estas medidas debido a que la holgura de la cadena de suministro del material es muy pequeña, se procede a la aceptación del riesgo, admitiendo su coste adicional.

RIESGO K

No existe opción válida en términos técnicos, de coste o de calidad

Este riesgo se puede dar cuando ninguna de las ofertas estudiadas en la fase de elaboración de comparativo cumple con las expectativas requeridas. La causa principal de la posibilidad de que este riesgo se lleve a cabo es que se trate de un diseño no estándar, condicionado por el diseño anterior de Lentvaris, de las líneas DLB y AB o de las condiciones atmosféricas locales.

- MEDIDA DE CONTINGENCIA

Para disminuir el impacto de este riesgo se plantea contactar con empresas subcontratas locales que estén habituados a estos sistemas y puedan realizar un diseño personalizado incluyendo su posible instalación. Se trata de una solución que supone un incremento considerable del coste del equipo por lo que hay que disponer de reservas suficientes si finalmente se da el caso.

PROCESO DE LOGÍSTICA

	ID	Riesgo	Descripción	Causa	Estrategia	Tipo de medida	Métrica	Acción
<i>Aprobación de documentación técnica</i>	N	5	Documentación técnica no es aceptada	Fallo en la fase de revisión técnica	Aceptar	-	-	-
<i>Fabricación</i>	Ñ	9	El tiempo de fabricación es mayor al estimado	El proveedor no cumple con los periodos de fabricación	Evitar	Prevención	Tiempo	Análisis de ofertas y planificación
<i>Ensayos FAT</i>	O	10	El suministro no supera las pruebas FAT	El equipo no cumple con las especificaciones prometidas en el contrato	Aceptar	-	-	-
<i>Logística del equipamiento</i>	P	10	Equipo extraviado en condiciones DAP	Seguimiento del pedido inadecuado	Evitar	Prevención	Coste	Estudio de la fiabilidad del proveedor y Plan de seguimiento del pedido
	Q	12	Equipo extraviado en condiciones EXW	Seguimiento del pedido inadecuado	Evitar y mitigar	Prevención y contingencia	Tiempo y coste	Estudio de la fiabilidad del proveedor y Plan de seguimiento del pedido. Planteamiento DAP Lituania
<i>Inspección del material</i>	R	15	El suministro no supera el plan de inspección en condiciones DAP	Suministro dañado en el transporte	Evitar	Prevención	Tiempo	Condiciones DAP con el proveedor
	S	20	El suministro no supera el plan de inspección en condiciones EXW	Suministro dañado en el transporte	Evitar y mitigar	Prevención y contingencia	Coste	Plan de análisis logístico y planteamiento de DAP Lituania
<i>Comienzo de la construcción</i>	T	16	El equipo no llega a tiempo para la construcción	Retraso en las fases previas	Mitigar	Contingencia	Coste	Plan de aceleración de construcción

Tabla 34: Plan de respuesta ante los riesgos del Proceso de Logística

RIESGO Ñ

El tiempo de fabricación es menor al estimado

En la Oferta Económica el suministrador proporciona el tiempo estimado de fabricación de los materiales. Su valor se compara con el estimado en la planificación y se modifica si varía con respecto a esta. Sin embargo, cabe la posibilidad de que por circunstancias ajenas se pueda llevar a cabo un retraso en la fábrica.

- MEDIDA DE PREVENCIÓN

Como medida de prevención, para evitar la probabilidad del riesgo estudiado, se prevé realizar una comparación del tiempo de fabricación de todas las propuestas económicas del suministro y modificar la planificación según el tiempo medio de todos los fabricantes. Si para un mismo suministro, el proveedor adjudicatario dispone de tiempos de fabricación mucho menores a los de su competencia se ha de estudiar

si el proveedor aporta suficiente fiabilidad a la hora de cumplir con el plazo previsto. Por otro lado, se establece un margen de 30 días de fabricación extra en la planificación para disminuir la probabilidad del riesgo considerablemente. Este margen se ha tenido en cuenta en la Tabla 23 que muestra la estimación del periodo de fabricación de cada equipamiento y material.

RIESGO P

Equipo extraviado en condiciones DAP

El riesgo estudiado se puede dar si el seguimiento del pedido llevado a cabo por el proveedor ha sido inadecuado durante el proceso del transporte del material. Para evitar el riesgo se ha establecido la siguiente medida de prevención:

- **MEDIDA DE PREVENCIÓN**

Se disminuye la probabilidad de que ocurra este riesgo aceptando condiciones DAP solo a aquellos proveedores que aporten una fiabilidad suficiente. Esta fiabilidad se podrá medir a través de previas referencias aportadas por la empresa proveedora o por el contacto previo que tenga con Elecnor. Además, se plantea la posibilidad de que el seguimiento del equipo sea controlado por el departamento, ya que su extravío supondría un retraso considerable en el proyecto.

RIESGO Q

Equipo extraviado en condiciones EXW

El riesgo a analizar es el mismo que en el caso anterior. Sin embargo, el Incoterm utilizado supone un mayor impacto si se activa este riesgo.

- **MEDIDA DE PREVENCIÓN**

Como solución se realiza un estudio de los transitarios disponibles y se elabora un Plan de Seguimiento de pedidos que suponga una disminución considerable de la probabilidad de que ocurra el riesgo.

- **MEDIDA DE CONTINGENCIA**

Si el suministrador se considera suficientemente fiable, se intenta en la medida de lo posible negociar DAP en la oferta para disminuir el impacto que tendría que la pérdida del suministro durante la fase de transporte.

RIESGO R

El suministro no supera el Plan de Inspección en condiciones DAP

Se trata de un riesgo que se da si el suministro se ha dañado durante la fase de logística del material hasta la llegada al almacén.

- MEDIDA DE PREVENCIÓN

Como medida de prevención del riesgo se plantea realizar un estudio detallado de las condiciones de empaquetado y transporte DAP Lituania que plantea el proveedor en el contrato. Se debe garantizar que estas condiciones son seguras para el transporte, carga y descarga del suministro.

RIESGO S

El suministro no supera el Plan de Inspección en condiciones EXW

El riesgo es muy similar al anterior, pero en condiciones EXW. A continuación se muestran diferentes soluciones:

- MEDIDA DE PREVENCIÓN

- Estudio y análisis de diferentes embalajes y vías de transporte seguras
- Elección de transitarios que aporten una fiabilidad adecuada en el transporte

- MEDIDA DE CONTINGENCIA

Si el proveedor se considera suficientemente fiable, se plantea la negociación DAP Lituania para disminuir el impacto del riesgo.

RIESGO T

El equipo no llega a tiempo para la construcción

La activación de este riesgo se aplica si ha ocurrido algún retraso en alguna de las fases previas a la instalación del equipo y material y el suministro no dispone de una holgura suficiente para el proyecto.

- MEDIDA DE CONTINGENCIA

Se establece como medida de contingencia el estudio de un Plan de aceleración en la construcción de la subestación, a través de la incorporación de recursos y el establecimiento de jornadas intensivas en las fases constructivas.

PROCESO DE COMPRAS

	ID	Descripción	Causa	Efecto	Métrica	Probabilidad	Impacto	Riesgo
Elaboración del Paquete Técnico	A	El Paquete Técnico se ha recibido más tarde de la fecha prevista	Problemas en el diseño	Retraso en la llegada del paquete a construcción	Tiempo	2	3	6
Petición de Oferta	B	El número de proveedores encontrados en el estudio de mercado es muy pequeño	Equipamiento no estándar o con peculiaridades	Menor calidad y menos opciones de toma de decisiones del proveedor adjudicatario	Calidad y coste	2	1	2
Elaboración de la oferta	C	El número de proveedores que pueden ofertar es muy pequeño	Equipamiento no estándar o con peculiaridades	Menor calidad y menos opciones de toma de decisiones del proveedor adjudicatario	Calidad y coste	2	3	6
	D	Los proveedores tardan más del tiempo previsto para elaborar la oferta	Disponibilidad de la empresa proveedora	Retraso en la planificación	Tiempo	2	4	8
Revisión Técnica	E	El número de proveedores que cumplen técnicamente es muy pequeño	Equipamiento no estándar o con peculiaridades	Menor calidad y menos opciones de toma de decisiones del proveedor adjudicatario	Calidad y coste	3	1	3
	F	Modificaciones en las especificaciones técnicas	Estudio de las ofertas de proveedores	Volver a la fase de petición de Oferta	Tiempo	1	4	4
	G	El tiempo de revisión es más largo de lo estimado	Recursos limitados en el departamento de ingeniería	Retraso en la planificación	Tiempo	1	4	4
Revisión Económica	H	El número de proveedores que cumplen económicamente es muy pequeño	Equipamiento no estándar o con peculiaridades	Menor calidad y menos opciones de toma de decisiones del proveedor adjudicatario	Calidad y coste	2	3	6
	I	El precio de las ofertas de los proveedores supera el coste previsto	Subida de precio de las materias primas	Aumento del coste	Coste	3	3	9
Revisión de Calidad	J	El número de proveedores que cumple con la normativa de calidad es muy pequeño	Equipamiento no estándar o con peculiaridades	Menor calidad y menos opciones de toma de decisiones del proveedor adjudicatario	Calidad y coste	2	2	4
Elaboración del Comparativo	K	No existe opción válida en términos técnicos/coste/calidad	Equipamiento no estándar o con peculiaridades	No adjudicación del equipo	Alcance, tiempo y coste	1	4	4
Short List	L	El cliente no acepta a alguno de los proveedores propuestos	Problemas con la empresa proveedora	Menor calidad y menos opciones de toma de decisiones del proveedor adjudicatario	Calidad y coste	1	4	4
Negociación y Propuesta de Adjudicación	M	No se optiene la mejor oferta del proveedor adjudicatario	Falta de capacidad de negociación	Adjudicación del equipo a un precio mayor	Coste	2	2	4

Tabla 35: Tabla de los riesgos residuales del Proceso de Compras

PROCESO DE LOGÍSTICA

	ID	Descripción	Causa	Efecto	Métrica	Probabilidad	Impacto	Riesgo
Aprobación de documentación técnica	N	Documentación técnica no es aceptada	Fallo en la fase de revisión técnica	Retroceso a la fase de revisión técnica	Tiempo y coste	1	5	5
Fabricación	Ñ	El tiempo de fabricación es mayor al estimado	El proveedor no cumple con los periodos de fabricación	Retraso en la instalación del equipamiento	Tiempo	1	3	9
Ensayos FAT	O	El suministro no supera las pruebas FAT	El equipo no cumple con las especificaciones prometidas en el contrato	Retraso en la fabricación	Calidad y tiempo	2	5	10
Logística del equipamiento	P	Equipo extraviado en condiciones DAP	Seguimiento del pedido inadecuado	Volver a la fase de fabricación	Tiempo	1	5	10
	Q	Equipo extraviado en condiciones EXW	Seguimiento del pedido inadecuado	Volver a la fase de fabricación	Tiempo y coste	1	5	12
Inspección del material	R	Daños en el equipo durante el transporte en condiciones DAP	Embalaje inadecuado para el transporte	Reparación del equipamiento	Calidad y tiempo	3	3	15
	S	Daños en el equipo durante el transporte en condiciones EXW	Embalaje inadecuado para el transporte	Reparación del equipamiento	Calidad, tiempo y coste	3	4	20
Comienzo de la construcción	T	El equipo no llega a tiempo para la construcción	Retraso en las fases previas	Retraso en la construcción	Tiempo	4	2	16

Tabla 36: Tabla de los riesgos residuales del Proceso de Logística

Capítulo 6. MONITORIZACIÓN Y SEGUIMIENTO DE LA CADENA DE SUMINISTRO

6.1 INTRODUCCIÓN

En el capítulo 6 se ha realizado una planificación del proceso de la Cadena de Suministro de todo el material necesario en la subestación. Sin embargo, se han elaborado varias estimaciones en términos de tiempo y costes. Estas estimaciones pueden dar lugar a variaciones en la planificación del proyecto. Ante esta incertidumbre, se pretende además implantar técnicas de la metodología *Agile* en la Cadena de Suministro, estableciendo un proceso de aprendizaje a medida que se avanza con el proyecto y modificando la planificación siempre y cuando se produzcan cambios en este.

Para enfrentarse a estas fluctuaciones, la metodología *Agile* está basada en:

- Entrega frecuente de los resultados obtenidos
- Circuitos cortos de retroalimentación
- Constante adaptación a los cambios establecidos
- Cambio/repriorización de las diferentes fases del proyecto.
- Actualización periódica de la planificación[7]

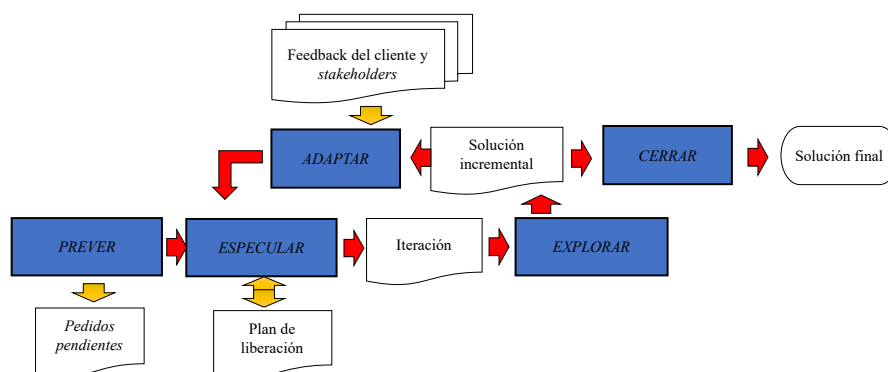


Figura 25: Diagrama de flujo de la metodología Agile[7]

Para llevar a cabo una monitorización del proyecto y sus posibles cambios en la planificación, a continuación se explican los indicadores a tener en cuenta durante todo el proceso de Compras y Logística. El objetivo de este capítulo es el análisis de cada una de

las fases estudiadas y sus correspondientes metas a través del estudio de diferentes KPIs. Se establecen, por tanto, pequeñas modificaciones en la planificación a medida que se obtienen diferentes medidas y resultados.

6.2 INDICADORES

En el apartado mostrado a continuación se han elaborado unos indicadores o KPIs para establecer un seguimiento y monitorización del proyecto al completo. Estos KPIs se han dividido por cada una de las fases del proceso de Compras y Logística.

Sea:

x → proveedor a analizar

y → suministro del Plan de Compras a analizar

ELABORACIÓN DEL PAQUETE TÉCNICO

Desviación con respecto a la fecha límite de llegada del Paquete Técnico del suministro y

Conocido la fecha límite prevista del suministro a estudiar, teniendo en cuenta el diagrama de Gantt explicado en el 0, se establece un indicador para valorar la desviación de la fecha de recepción real del Paquete Técnico del ítem y . Este indicador establece el número de días restantes con respecto a la fecha límite de recepción del Paquete técnico del ítem y .

$$\text{Recepción del } PT_{previsto}(y) - \text{Recepción del } PT_{real}(y) \forall y$$

Ecuación 7: Desviación de la fecha de llegada del Paquete Técnico

ELABORACIÓN DE LA OFERTA

Valoración del tiempo de respuesta del proveedor x

En cuanto a la fase de elaboración de ofertas, se analiza la eficiencia del proveedor a ofertar, teniendo en cuenta el tiempo medio de todos los proveedores que ofertan el suministro

$$\frac{t_{respuesta}(x, y) - \overline{t_{respuesta}(y)}}{t_{respuesta}(y)} \forall x, y$$

Ecuación 8: Desviación del tiempo de elaboración de la oferta del proveedor x

REVISIÓN TÉCNICA Y DE CALIDAD

Valoración del tiempo de respuesta del suministro y

Por otro lado, también se evalúa el tiempo que tarda el departamento de Ingeniería y Calidad en evaluar todas las propuestas técnicas del suministro y

$$\frac{t_{\text{respuesta}}(y) - \overline{t_{\text{respuesta}}(y)}}{\overline{t_{\text{respuesta}}(y)}} \forall y$$

Ecuación 9: Desviación del tiempo de revisión de la oferta técnica y de calidad

Número de revisiones realizadas por el proveedor x hasta la aprobación del suministro

Se establece un contador del número de revisiones de la propuesta que realiza el proveedor x hasta que su equipo y material cumple con todos los requisitos técnicos

$$\sum_x n^{\circ} \text{ de ofertas}(x, y) \forall y$$

Ecuación 10: Número de revisiones realizadas por el proveedor

REVISIÓN ECONÓMICA

Valoración del tiempo necesario para la revisión económica del proveedor x en el suministro y

Al igual que en la revisión técnica, se evalúa el número de días necesario para la revisión de una oferta en comparación con la media de las ofertas del suministro.

$$\frac{t_{\text{rev Ec}}(x, y) - \overline{t_{\text{rev Ec}}(y)}}{\overline{t_{\text{rev Ec}}(y)}} \forall x, y$$

Ecuación 11: Desviación del tiempo de revisión de la oferta económica

ELABORACIÓN DEL COMPARATIVO

Desviación del precio de la oferta del proveedor X con respecto al coste previsto

Conocido el coste estimado, explicado en la Tabla 29 se evalúa el precio total del proveedor, teniendo en cuenta el transporte a DAP Lituania.

$$\frac{C(x, y) - C_{estimado}(y)}{C_{estimado}(y)} \forall x, y$$

Ecuación 12: Desviación del coste de la oferta del proveedor con respecto a la previsión

Desviación del precio de la oferta del proveedor X con respecto a la media de las ofertas de los proveedores

Además, también se establece una valoración con respecto a los otros proveedores que han enviado una oferta del suministro

$$\frac{C(x, y) - \overline{C}(y)}{\overline{C}(y)} \forall x, y$$

Ecuación 13: Desviación del coste de la oferta del proveedor con respecto a otros proveedores

Por otro lado, teniendo en cuenta las puntuaciones establecidas en el apartado 5.4.7 se valora al proveedor en términos económicos, técnicos y de calidad a través de los siguientes KPIs.

Desviación de la propuesta económica del proveedor X con respecto a la media de las propuestas de los proveedores

$$\frac{Rev_{Ec}(x, y) - \overline{Rev_{Ec}}(y)}{\overline{Rev_{Ec}}(y)} \forall x, y$$

Ecuación 14: Desviación económica de la propuesta del proveedor

Desviación de la propuesta técnica del proveedor X con respecto a la media de las propuestas de los proveedores

$$\frac{Rev_{Tec}(x, y) - \overline{Rev_{Tec}}(y)}{\overline{Rev_{Tec}}(y)} \forall x, y$$

Ecuación 15: Desviación técnica de la propuesta del proveedor

Desviación de la propuesta de calidad del proveedor X con respecto a la media de las propuestas de los proveedores

$$\frac{Rev_Q(x, y) - \overline{Rev_Q(y)}}{\overline{Rev_Q(y)}} \quad \forall x, y$$

Ecuación 16: Desviación de calidad de la propuesta del proveedor

Valoración total del proveedor X

$$\frac{Valoración(x, y) - \overline{Valoración(y)}}{\overline{Valoración(y)}} \quad \forall x, y$$

Ecuación 17: Valoración total del proveedor

NEGOCIACIÓN Y PROPUESTA DE ADJUDICACIÓN

Desviación del tiempo de negociación de la oferta con respecto al tiempo previsto

Al igual que en las fases anteriores, se establece un estudio del tiempo a negociar con cada uno de los proveedores

$$\frac{T_iempo\ de\ negociaci3n_{previsto} - T_iempo\ de\ negociaci3n_{real}(x, y)}{T_iempo\ de\ negociaci3n_{previsto}} \quad \forall x, y$$

Ecuación 18: Desviación del tiempo de negociación de la oferta

PROCESO TOTAL DE COMPRAS

Porcentaje total del avance en el proceso de compras

Conocido el tiempo previsto de cada una de las fases del proceso de compras tal y como se muestra en la Tabla 37, se establece un estudio del avance del suministro según en la fase del Proceso de Compras en la que se encuentre:

	<i>Avance (%)</i>
<i>Llegada Paquete técnico</i>	0,00%
<i>Petición de oferta</i>	5,00%
<i>Elaboración de la oferta</i>	30,00%
<i>Revisión técnica y de calidad</i>	71,67%
<i>Revisión económica</i>	80,00%
<i>Comparativo</i>	88,33%
<i>Shortlist</i>	93,33%
<i>Negociación y propuesta de adjudicación</i>	100,00%

Tabla 37: Porcentaje de avance de cada fase del Proceso de Compras

Holgura del suministro para el proceso del Plan de Logística

Con este KPI se pretende estudiar si el suministro sigue disponiendo de holgura suficiente en el proceso de logística o si por el contrario se trata de un suministro crítico al que se debe de dar máxima prioridad a la hora de estructurar los recursos.

$$\text{Fecha Orden de Compras}_{prevista}(y) - \text{Fecha Orden de Compras}_{real}(y)$$

Ecuación 19: Desviación de la fecha de Orden de Compras del suministro

APROBACIÓN DE LOS DOCUMENTOS TÉCNICOS

Desviación del tiempo de aprobación de los documentos técnicos

Una vez realizada la Orden de Compras, se estima que la aprobación de la documentación técnica final se realice en torno a 15 días. Su desviación respecto al tiempo de aprobación previsto se calcula a través del siguiente KPI.

$$\frac{\text{Tiempo de aprobación}_{\text{previsto}} - \text{Tiempo de aprobación}_{\text{real}}(y)}{\text{Tiempo de aprobación}_{\text{previsto}}} \forall y$$

Ecuación 20: Desviación del tiempo de revisión y aprobación de la documentación final

Por otro lado, teniendo en cuenta los tiempos acordados con el proveedor en el Plan de Control del suministro, se establecen una serie de indicadores que cuantifican la desviación de las fases de fabricación y logística. Si el Incoterm del suministro es Exworks se necesita disponer de la información del tiempo de transporte establecida por el transitario.

FABRICACIÓN DEL SUMINISTRO

Desviación del tiempo de fabricación con respecto al estimado

Teniendo en cuenta el tiempo de fabricación proporcionado por el proveedor se calcula la desviación producida.

$$\frac{\text{Tiempo de fabricación}_{\text{previsto}} - \text{Tiempo de fabricación}_{\text{real}}(y)}{\text{Tiempo de fabricación}_{\text{previsto}}} \forall y$$

Ecuación 21: Desviación del tiempo de fabricación del suministro

ENSAYOS FAT

Desviación del tiempo de realización de ensayos FAT con respecto al estimado

$$\frac{\text{Tiempo de ensayos FAT}_{\text{previsto}} - \text{Tiempo de ensayos FAT}_{\text{real}}(y)}{\text{Tiempo de ensayos FAT}_{\text{previsto}}} \forall y$$

Ecuación 22: Desviación del tiempo empleado para las pruebas FAT

Porcentaje de equipos defectuosos

$$\frac{N^{\circ} \text{ equipos defectuosos}}{N^{\circ} \text{ Total de equipos}} \forall y$$

Ecuación 23: Porcentaje de equipos defectuosos

TRANSPORTE DEL MATERIAL

Desviación del tiempo de transporte del material con respecto al estimado

$$\frac{\text{Tiempo de transporte}_{previsto} - \text{Tiempo de transporte}_{real}(y)}{\text{Tiempo de transporte}_{previsto}} \forall y$$

Ecuación 24: Desviación del tiempo empleado en el transporte del suministro

INSPECCIÓN DEL MATERIAL

Desviación del tiempo de realización de la inspección del material con respecto al estimado

$$\frac{\text{Tiempo de inspección}_{previsto} - \text{Tiempo de inspección}_{real}(y)}{\text{Tiempo de inspección}_{previsto}} \forall y$$

Ecuación 25: Desviación del tiempo de inspección del material

PROCESO TOTAL DE LOGÍSTICA

Desviación total del proceso de logística con respecto a la fecha límite planificada

Por último se debe cuantificar si el suministro finalmente ha cumplido con el objetivo de llegada a su implantación en el terreno en la fecha de su correspondiente hito constructivo. Además, este KPI permite establecer el número de días de almacenaje del suministro y.

$$\text{Fecha Construcción}_{prevista}(y) - \text{Fecha Construcción}_{real}(y)$$

Ecuación 26: Desviación de la fecha de llegada del material a construcción

EARNED VALUE ANALYSIS

Una de las técnicas más utilizadas en la gestión de proyectos Gestión del Valor Ganado o *Earned Value Analysis*. Se trata de una metodología que permite controlar la ejecución de un proyecto a través de su presupuesto y calendario. [35]

Los indicadores utilizados en esta herramienta se muestran a continuación. Sin embargo, en el apartado 7.2 se explica esta metodología más en detalle.

Desviación del coste en un periodo de tiempo determinado

Calcula la variación del coste programado con el actual, en un periodo de tiempo determinado. El objetivo en el proyecto es disponer de una desviación del 3 % al 5 % frente a su estimación.

$$CV (\text{€}) = BCWP - ACWP$$

Ecuación 27: Cálculo de la desviación del coste en un periodo de tiempo determinado, en euros

$$CV (\%) = \frac{BCWP - ACWP}{BCWP}$$

Ecuación 28: Cálculo de la desviación del coste en un periodo de tiempo determinado, en porcentaje

Siendo:

BCWP → Coste presupuestado del trabajo realizado, en euros.

ACWP → Coste actual del trabajo realizado, en euros.

Desviación de la planificación en un periodo de tiempo determinado

Calcula la desviación de las fechas del proyecto, comparándola con la planificación estudiada. El objetivo en este proyecto es disponer de una desviación del 3 % al 5 % frente a su estimación.

$$SV (\text{€}) = BCWP - BCWS$$

Ecuación 29: Cálculo de la desviación de la planificación en un periodo de tiempo determinado, en euros

$$SV (\%) = \frac{BCWP - BCWS}{BCWS}$$

Ecuación 30: Cálculo de la desviación de la planificación en un periodo de tiempo determinado, en porcentaje

Siendo:

BCWS → Coste actual del trabajo planificado, en euros.

BCWP → Coste presupuestado del trabajo realizado, en euros.

Además, para calcular el rendimiento del proyecto, en cuanto a costes y estudio de tiempos, se han elaborado los siguientes indicadores. Si estos indicadores son mayores a la unidad, indica que los resultados del proyecto se ajustan con los objetivos establecidos.[36]

Indicador del rendimiento de costes

$$CPI (\%) = \frac{BCWP}{ACWP}$$

Ecuación 31: Cálculo del indicador del rendimiento de costes

Siendo:

BCWP → Coste presupuestado del trabajo realizado, en euros.

ACWP → Coste actual del trabajo realizado, en euros.

Indicador del rendimiento del programa

$$SPI (\%) = \frac{BCWP}{BCWS}$$

Ecuación 32: Cálculo del indicador del rendimiento del programa

Siendo:

BCWS → Coste actual del trabajo planificado, en euros.

BCWP → Coste presupuestado del trabajo realizado, en euros.

Finalmente se plantea la realización de un análisis semanal de la duración media de cada una de las fases del Plan de Compras, según las aportaciones de los proveedores y los valores obtenidos en los KPIs. Los resultados obtenidos se actualizan en el diagrama de Gantt para tenerlos en cuenta en los suministros cuyo proceso se realiza después del estudiado.

Por otro lado, los KPIs analizados establecen un análisis detallado de los diferentes proveedores de cada suministro. Esto servirá para que en la fase de Estudio de Mercado de los siguientes suministros se tenga más en cuenta a aquellos proveedores mejor valorados según el estudio de los indicadores.

Capítulo 7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

7.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS

El presente documento tenía como objetivos establecer un proceso de Compras y Logística de una subestación, que cumpla con los requisitos de coste y tiempo de respuesta del proceso. Para ello se ha elaborado un estudio detallado de la subestación de tracción, para poder extraer un Plan de Compras claro y desglosado en diferentes suministros. A continuación, se ha analizado el proceso de compras y logística en su conjunto, explicando los pasos a proceder y el tiempo y recursos a emplear. Esto ha permitido establecer una planificación del proyecto para que los suministros lleguen a tiempo a todos los hitos constructivos. Además, se ha pretendido monitorizar el proceso, para así poder comprobar si se ha podido llegar a las metas establecidas, en términos de tiempo y costes.

Según la planificación, el proyecto termina en noviembre de 2022. Por ello, no se pueden analizar los resultados finales completos. Sin embargo, debido a la constante retroalimentación llevada durante todo el proceso, a continuación se muestra el Diagrama de Gantt a 30 de junio de 2021, en el que se han comparado las fechas actuales con los límites establecidas en la planificación.

Id	Modo de tarea	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	% completado	2021				2022				2023	
							T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4
1		Comienzo Plan de Compras y Logística	0 días	lun 25/01/21	lun 25/01/21	0%										
2		TPS_27	185 días	jue 13/05/21	mié 26/01/22	19%										
3		Pedido de compra TPS_27	35 días	jue 13/05/21	mié 30/06/21	100%										
4		Fabricación	60 días	jue 01/07/21	mié 22/09/21	0%										
5		Logística	90 días	jue 23/09/21	mié 26/01/22	0%										
139		Movimiento de tierras y red de puesta a tierras	0 días	mar 01/02/22	mar 01/02/22	0%										
6		TPS_22&23	262 días	vie 26/02/21	lun 28/02/22	38%										
7		Pedido de compra	52 días	vie 26/02/21	lun 10/05/21	100%										
8		Fabricación	120 días	mar 11/05/21	lun 25/10/21	40%										
9		Logística	90 días	mar 26/10/21	lun 28/02/22	0%										
10		Excavaciones y cimentaciones de los equipos principales	0 días	lun 28/02/22	lun 28/02/22	0%										
65		TPS_20	210 días	mar 18/05/21	lun 07/03/22	1%										
66		Pedido de compra	60 días	mar 18/05/21	lun 09/08/21	5%										
67		Fabricación	60 días	mar 10/08/21	lun 01/11/21	0%										
68		Logística	90 días	mar 02/11/21	lun 07/03/22	0%										
16		TPS_21	285 días	lun 15/03/21	vie 15/04/22	21%										
17		Pedido de compra	60 días	lun 15/03/21	vie 04/06/21	100%										
18		Fabricación	135 días	lun 07/06/21	vie 10/12/21	0%										
19		Logística	90 días	lun 13/12/21	vie 15/04/22	0%										
11		TPS_26	238 días	mié 19/05/21	sáb 16/04/22	1%										
12		Pedido de compra	60 días	mié 19/05/21	mar 10/08/21	5%										
13		Fabricación	60 días	mié 11/08/21	mar 02/11/21	0%										
14		Logística	90 días	mié 03/11/21	mar 08/03/22	0%										
15		Drenajes, hormigón, tubos, acero corrugado	0 días	sáb 16/04/22	sáb 16/04/22	0%										
29		TPS_4.1	305 días	jue 25/02/21	mié 27/04/22	21%										
30		Pedido de compra	65 días	jue 25/02/21	mié 26/05/21	100%										
31		Fabricación	150 días	jue 27/05/21	mié 22/12/21	0%										
32		Logística	90 días	jue 23/12/21	mié 27/04/22	0%										
20		TPS_28	180 días	mar 24/08/21	lun 02/05/22	0%										
21		Pedido de compra	60 días	mar 24/08/21	lun 15/11/21	0%										
22		Fabricación	30 días	mar 16/11/21	lun 27/12/21	0%										
23		Logística	90 días	mar 28/12/21	lun 02/05/22	0%										
24		Instalación del edificio prefabricado	0 días	lun 02/05/22	lun 02/05/22	0%										
33		TPS_4.2	305 días	mié 10/03/21	mar 10/05/22	21%										
34		Pedido de compra	65 días	mié 10/03/21	mar 08/06/21	100%										
35		Fabricación	150 días	mié 09/06/21	mar 04/01/22	0%										
36		Logística	90 días	mié 05/01/22	mar 10/05/22	0%										
49		TPS_6.1	300 días	mié 24/03/21	mar 17/05/22	18%										
50		Pedido de compra	60 días	mié 24/03/21	mar 15/06/21	88%										
51		Fabricación	150 días	mié 16/06/21	mar 11/01/22	0%										
52		Logística	90 días	mié 12/01/22	mar 17/05/22	0%										
25		TPS_3.1	350 días	lun 25/01/21	vie 27/05/22	38%										
26		Pedido de compra	50 días	lun 25/01/21	vie 02/04/21	100%										
27		Fabricación	210 días	lun 05/04/21	vie 21/01/22	40%										
28		Logística	90 días	lun 24/01/22	vie 27/05/22	0%										
37		TPS_5.1	325 días	mar 23/03/21	lun 20/06/22	17%										
38		Pedido de compra	55 días	mar 23/03/21	lun 07/06/21	100%										
39		Fabricación	180 días	mar 08/06/21	lun 14/02/22	0%										
40		Logística	90 días	mar 15/02/22	lun 20/06/22	0%										
41		TPS_5.2	325 días	mar 23/03/21	lun 20/06/22	17%										
42		Pedido de compra	55 días	mar 23/03/21	lun 07/06/21	100%										
43		Fabricación	180 días	mar 08/06/21	lun 14/02/22	0%										
44		Logística	90 días	mar 15/02/22	lun 20/06/22	0%										
45		TPS_5.3	325 días	mar 23/03/21	lun 20/06/22	17%										
46		Pedido de compra	55 días	mar 23/03/21	lun 07/06/21	100%										
47		Fabricación	180 días	mar 08/06/21	lun 14/02/22	0%										
48		Logística	90 días	mar 15/02/22	lun 20/06/22	0%										
61		TPS_16	210 días	mar 31/08/21	lun 20/06/22	0%										
62		Pedido de compra	60 días	mar 31/08/21	lun 22/11/21	0%										
63		Fabricación	60 días	mar 23/11/21	lun 14/02/22	0%										
64		Logística	90 días	mar 15/02/22	lun 20/06/22	0%										
69		TPS_25	210 días	mar 31/08/21	lun 20/06/22	0%										
70		Pedido de compra	60 días	mar 31/08/21	lun 22/11/21	0%										
71		Fabricación	60 días	mar 23/11/21	lun 14/02/22	0%										
72		Logística	90 días	mar 15/02/22	lun 20/06/22	0%										
53		TPS_6.2	300 días	vie 30/04/21	jue 23/06/22	18%										
54		Pedido de compra	60 días	vie 30/04/21	jue 22/07/21	88%										
55		Fabricación	150 días	vie 23/07/21	jue 17/02/22	0%										
56		Logística	90 días	vie 18/02/22	jue 23/06/22	0%										
57		TPS_11.1	300 días	vie 30/04/21	jue 23/06/22	18%										
58		Pedido de compra	60 días	vie 30/04/21	jue 22/07/21	88%										
59		Fabricación	150 días	vie 23/07/21	jue 17/02/22	0%										
60		Logística	90 días	vie 18/02/22	jue 23/06/22	0%										
73		Aparamento exterior de 110 kV	0 días	jue 23/06/22	jue 23/06/22	0%										
79		TPS_7.1	360 días	mié 24/02/21	mar 12/07/22	12%										

Id	Modo de tarea	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	% completado	2021				2022				2023		
							T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1
80		Pedido de compra	60 días	mié 24/02/21	mar 18/05/21	72%											
81		Fabricación	210 días	mié 19/05/21	mar 08/03/22	0%											
82		Logística	90 días	mié 09/03/22	mar 12/07/22	0%											
83		TPS_7.2	360 días	mié 24/02/21	mar 17/07/22	12%											
84		Pedido de compra	60 días	mié 24/02/21	mar 18/05/21	72%											
85		Fabricación	210 días	mié 19/05/21	mar 08/03/22	0%											
86		Logística	90 días	mié 09/03/22	mar 12/07/22	0%											
87		TPS_7.3	360 días	jue 25/02/21	mié 13/07/22	13%											
88		Pedido de compra	60 días	jue 25/02/21	mié 19/05/21	80%											
89		Fabricación	210 días	jue 20/05/21	mié 09/03/22	0%											
90		Logística	90 días	jue 10/03/22	mié 13/07/22	0%											
92		TPS_3.2	360 días	vie 26/02/21	jue 14/07/22	5%											
93		Pedido de compra	60 días	vie 26/02/21	jue 20/05/21	30%											
94		Fabricación	210 días	vie 21/05/21	jue 10/03/22	0%											
95		Logística	90 días	vie 11/03/22	jue 14/07/22	0%											
96		TPS_9.1	360 días	lun 01/03/21	vie 15/07/22	1%											
97		Pedido de compra	60 días	lun 01/03/21	vie 21/05/21	5%											
98		Fabricación	210 días	lun 24/05/21	vie 11/03/22	0%											
99		Logística	90 días	lun 14/03/22	vie 15/07/22	0%											
100		TPS_9.2	314 días	jue 06/05/21	mar 19/07/22	12%											
101		Pedido de compra	60 días	jue 06/05/21	mié 26/05/21	72%											
102		Fabricación	210 días	mié 26/05/21	mar 15/03/22	0%											
103		Logística	90 días	mié 16/03/22	mar 19/07/22	0%											
74		TPS_1	391 días	mar 26/01/21	mar 26/07/22	40%											
75		Pedido de compra	68 días	mar 26/01/21	jue 29/04/21	100%											
76		Fabricación	233 días	vie 30/04/21	mar 22/03/22	38%											
77		Logística	90 días	mié 23/03/22	mar 26/07/22	0%											
78		Construcción y montaje de los SFCs	0 días	mar 26/07/22	mar 26/07/22	0%											
105		TPS_10	330 días	jue 06/05/21	mié 10/08/22	13%											
106		Pedido de compra	60 días	jue 06/05/21	mié 28/07/21	72%											
107		Fabricación	180 días	jue 29/07/21	mié 06/04/22	0%											
108		Logística	90 días	jue 07/04/22	mié 10/08/22	0%											
91		Transformadores de potencia de 110 a 10 kV	0 días	vie 30/09/22	vie 30/09/22	0%											
104		Celdas GIS de 55/27.5 KV	0 días	vie 30/09/22	vie 30/09/22	0%											
109		Celdas GIS de 10 kV	0 días	jue 13/10/22	jue 13/10/22	0%											
110		TPS_12	330 días	lun 26/07/21	vie 28/10/22	0%											
111		Pedido de compra	60 días	lun 26/07/21	vie 15/10/21	0%											
112		Fabricación	180 días	lun 18/10/21	vie 24/06/22	0%											
113		Logística	90 días	lun 27/06/22	vie 28/10/22	0%											
114		TPS_13	270 días	lun 18/10/21	vie 28/10/22	0%											
115		Pedido de compra	60 días	lun 18/10/21	vie 07/01/22	0%											
116		Fabricación	120 días	lun 10/01/22	vie 24/06/22	0%											
117		Logística	90 días	lun 27/06/22	vie 28/10/22	0%											
118		TPS_14	285 días	lun 27/09/21	vie 28/10/22	0%											
119		Pedido de compra	60 días	lun 27/09/21	vie 17/12/21	0%											
120		Fabricación	135 días	lun 20/12/21	vie 24/06/22	0%											
121		Logística	90 días	lun 27/06/22	vie 28/10/22	0%											
122		TPS_15	285 días	lun 27/09/21	vie 28/10/22	0%											
123		Pedido de compra	60 días	lun 27/09/21	vie 17/12/21	0%											
124		Fabricación	135 días	lun 20/12/21	vie 24/06/22	0%											
125		Logística	90 días	lun 27/06/22	vie 28/10/22	0%											
126		TPS_29	180 días	lun 21/02/22	vie 28/10/22	0%											
127		Pedido de compra	60 días	lun 21/02/22	vie 13/05/22	0%											
128		Fabricación	30 días	lun 16/05/22	vie 24/06/22	0%											
129		Logística	90 días	lun 27/06/22	vie 28/10/22	0%											
130		Equipos de interior	0 días	vie 28/10/22	vie 28/10/22	0%											
131		TPS_17.1	240 días	lun 29/11/21	vie 28/10/22	0%											
132		Pedido de compra	60 días	lun 29/11/21	vie 18/02/22	0%											
133		Fabricación	90 días	lun 21/02/22	vie 24/06/22	0%											
134		Logística	90 días	lun 27/06/22	vie 28/10/22	0%											
135		TPS_19	210 días	lun 10/01/22	vie 28/10/22	0%											
136		Pedido de compra	60 días	lun 10/01/22	vie 01/04/22	0%											
137		Fabricación	60 días	lun 04/04/22	vie 24/06/22	0%											
138		Logística	90 días	lun 27/06/22	vie 28/10/22	0%											
140		Tendido y conexiones de cables de media tensión	0 días	vie 28/10/22	vie 28/10/22	0%											
141		TPS_17.2	240 días	lun 20/12/21	vie 18/11/22	0%											
142		Pedido de compra	60 días	lun 20/12/21	vie 11/03/22	0%											
143		Fabricación	90 días	lun 14/03/22	vie 15/07/22	0%											
144		Logística	90 días	lun 18/07/22	vie 18/11/22	0%											
145		TPS_18	240 días	lun 20/12/21	vie 18/11/22	0%											
146		Pedido de compra	60 días	lun 20/12/21	vie 11/03/22	0%											
147		Fabricación	90 días	lun 14/03/22	vie 15/07/22	0%											
148		Logística	90 días	lun 18/07/22	vie 18/11/22	0%											
149		Tendido y conexiones de cables de baja tensión	0 días	lun 21/11/22	lun 21/11/22	0%											

En el diagrama se observa la planificación, en gris y en azul distintos suministros cuyo proceso dispone de suficiente holgura. Sin embargo, en rojo se pueden observar los equipos críticos, debido a que el Paquete Técnico del equipamiento o material ha sido recibido más tarde de la fecha prevista. Además, se han modificado los tiempos del proceso según las mediciones establecidas. Tal y como se puede observar en el diagrama, los ítems TPS_1, 3.1, 4.1, 5.1, 5.2, 5.3, 21, 22&23 y 27 se encuentran en fase de fabricación, mientras que los demás ítems continúan en el Proceso de Compras. Se observa que los tiempos del Proceso de Compras de los suministros críticos se han reducido ligeramente, puesto que se han empleado más recursos en aquellos equipos cuya prioridad es mayor. Esto se ha compensado en los suministros cuya holgura es suficiente para su correspondiente hito constructivo.

El objetivo principal de la Cadena de Suministro es llegar a tiempo a fechas propuestas por construcción. Por ello, se deben reestructurar los recursos, dando máxima prioridad a los ítems TPS_1, 5.1, 5.2, 5.3, 6.2, 11.1 y 22 & 23, ya que puede darse cierto retraso en estos equipos. Los demás suministros disponen de tiempo suficiente como para aplazarlos ligeramente.

En el proyecto por tanto se han cumplido los siguientes objetivos:

- Se ha elaborado un Plan de Compras detallado de todo lo necesario para construir la subestación
- Se ha definido un Proceso de Compras adecuado para seleccionar a los proveedores que cumplan con las expectativas del proyecto.
- Se ha constituido un Proceso de Logística, para establecer un control de los proveedores que finalmente suministran el equipo y material, y una revisión para que el equipamiento llegue en las condiciones adecuadas para su instalación.
- Se ha realizado un estudio de los tiempos y costes previstos en el proyecto y se ha procedido a realizar un análisis continuo del cumplimiento de este estudio. El estudio económico se explica más en detalle en el apartado 7.2.
- Se han establecido los riesgos críticos que se pueden dar en cada una de las fases del proyecto, elaborando una serie de medidas correspondientes a cada riesgo, para poder anteponerse a cualquier situación crítica que se pueda dar.

7.2 ANÁLISIS ECONÓMICO

Para realizar un análisis económico del proyecto, en primer lugar se ha calculado la inversión inicial para el proceso de Cadena de Suministro. Sabiendo que en los costes de cada equipamiento y material estimados en la Tabla 29 se ha tenido en cuenta el diseño realizado de los equipos de la subestación, los accesorios de cada equipamiento y el transporte a DAP Lituania, el sumatorio total del coste previsto es 8.976.459 €. Además, para disponer de reservas suficientes a la hora de gestionar los posibles riesgos estudiados en el apartado 0, se ha mayorado el coste un 10 %.

$$INV = 1,1 * 8.976.459 \approx 10.000.000 \text{ €}$$

El flujo de caja actual, teniendo en cuenta los suministros comprados a 30 de junio de 2021 se explica a continuación:

Ítem	Equipamiento	Coste previsto	Coste real	Desviación
TPS_1	Convertidores estáticos de frecuencia	4.800.000 €	4.627.244,00 €	4%
TPS_3.1	Interruptores de 110 kV	51.581 €	45.680,00 €	11%
TPS_4.1	Seccionadores de 110 kV	48.623 €	46.387,50 €	5%
TPS_4.2	Seccionadores de 27,5 kV	11.734 €	12.764,00 €	-9%
TPS_5.1	Transformadores de Intensidad de 110 kV	98.434 €	90.900,00 €	8%
	Transformadores de Tensión de 110 kV	90.471 €	72.900,00 €	19%
	Transformadores de medida de 110 KV	188.905 €	163.800,00 €	13%
TPS_5.2	Transformadores de medida de 27,5 KV	9.839 €	10.108,00 €	-3%
TPS_5.3	Armario de retorno de vía	7.626 €	7.245,00 €	5%
TPS_21	Edificio prefabricado	377.792 €	387.141,00 €	-2%
TPS_22 & 23	Estructuras metálicas y pernos de anclaje	63.700 €	62.724,75 €	2%
TPS_27	Material de la red de tierra	62.826 €	68.995,53 €	-10%

Tabla 38: Desviación del coste real de los suministros con respecto al estimado

Tal y como se observa en Tabla 38, los suministros de seccionadores de baja y el material de puesta a tierra sobrepasan su valor estimado. Sin embargo, el balance total es positivo, suponiendo un beneficio para el proyecto.

Por otro lado, para realizar el *Earned Value Analysis* del proyecto, es importante explicar en primer lugar los costes calculados, dependiendo del tiempo.

COSTE PRESUPUESTADO DEL TRABAJO PLANIFICADO

En inglés, *Budget Cost of Work Scheduled* – BCWS, también conocido como valor planificado, *Planned Value* - PV

Mide el coste planificado en un periodo de tiempo determinado.

COSTE PRESUPUESTADO DEL TRABAJO REALIZADO

En inglés, *Budget Cost of Work Performed* – BCWP, también conocido como valor ganado, *Earned Value* – EV

Mide el coste planificado de las tareas que realmente se han avanzado en un periodo de tiempo determinado.

COSTE ACTUAL DEL TRABAJO REALIZADO

En inglés, *Actual Cost of Work Performed* – ACWP

Mide el coste actual de las tareas que se han avanzado en un periodo de tiempo determinado.[37]

Para realizar el cálculo de los costes planteados se han comparado los costes de los suministros y las fechas en las que se ha procedido a realizar la compra con lo planificado en el diagrama de Gantt.

Ítem	Fecha prevista	Coste previsto	Fecha real	Coste real	Desviación temporal
TPS 1	28/4/21	4.800.000 €	29/4/21	4.627.244,00 €	-1 días
TPS 3.1	26/4/21	51.581 €	2/4/21	45.680,00 €	24 días
TPS 4.1	19/7/21	48.623 €	26/5/21	46.387,00 €	54 días
TPS 4.2	19/7/21	11.734 €	8/6/21	12.764,00 €	41 días
TPS 5.1	7/6/21	188.905 €	7/6/21	163.800,00 €	0 días
TPS 5.2	7/6/21	9.839 €	7/6/21	10.108,00 €	0 días
TPS 5.3	7/6/21	7.626 €	7/6/21	7.245,00 €	0 días
TPS 21	21/6/21	377.792 €	4/6/21	387.141,00 €	17 días
TPS 22 & 23	10/5/21	63.700 €	10/5/21	62.724,75 €	0 días
TPS 27	6/7/21	62.826 €	30/6/21	68.995,53 €	6 días

Tabla 39: Comparativa de coste y fecha del pedido de compra

Se puede observar como los suministros del Plan de Compras han cumplido con sus objetivos programados, lo que supone que el proyecto va acorde con lo planificado. Se ha decidido priorizar aquellos suministros cuya fecha de llegada del Paquete Técnico estaba retrasada con respecto a la planificación, empleando más recursos y paralelizando tareas a la hora de gestionar su proceso de correspondiente. De esta manera el Proceso de Compras del Material de Red de Puesta a Tierra, TPS_27, se ha reducido de 60 a 35 días, las estructuras metálicas a 52 y los transformadores de medida y armarios de retorno, TPS_5.1, 5.2, 5.3 a 55 días. Estos cuatro últimos equipos, siguen considerándose suministros críticos, por lo que habrá que optimizar el proceso de fabricación y logística del material.

A continuación se muestra la gráfica obtenida del *Earned Value Analysis*, junto con las tablas en las que se han calculado los indicadores estudiados en el apartado 6.2.

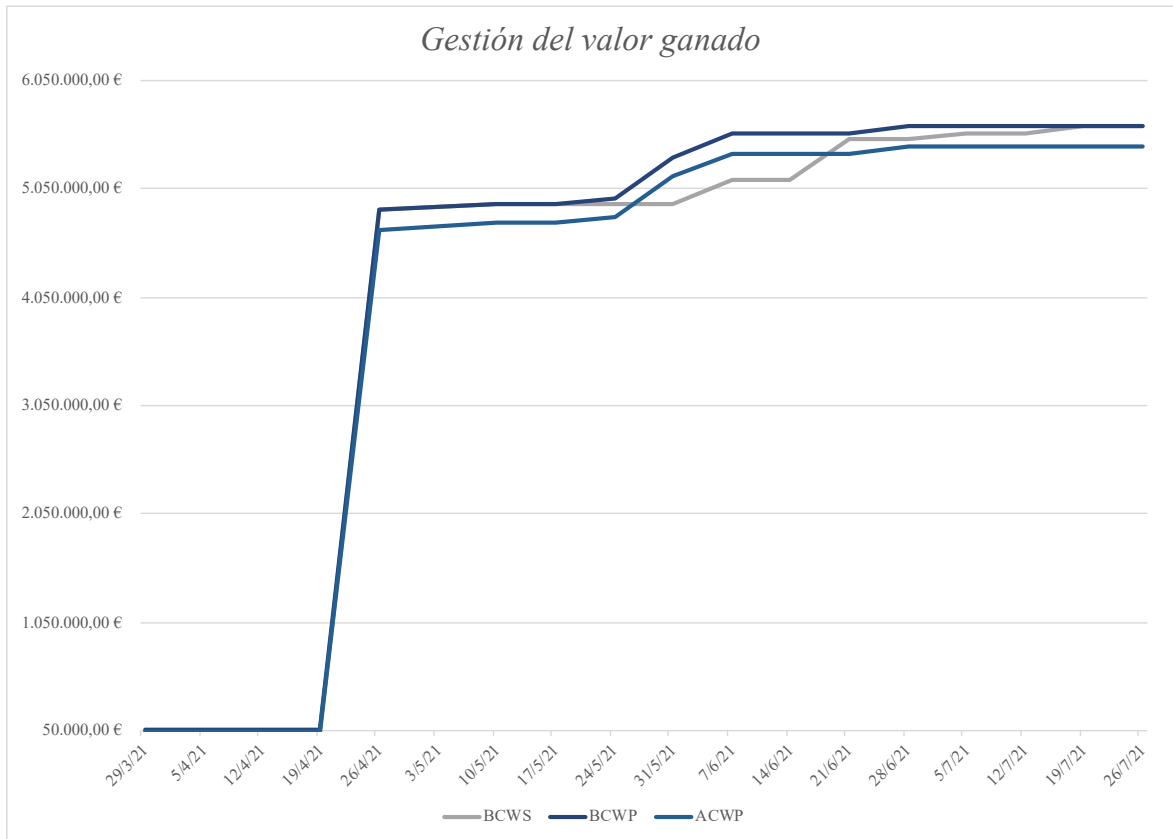


Gráfico 4: Earned Value Analysis

Fecha	BCWS	BCWP	ACWP	Desviación del coste (€)	Desviación del coste (%)	Desviación de la programación (€)	Desviación de la programación (%)
29/3/21	- €	51.581,00 €	45.680,00 €	5.901,00 €	11,44%	51.581,00 €	N/A
5/4/21	- €	51.581,00 €	45.680,00 €	5.901,00 €	11,44%	51.581,00 €	N/A
12/4/21	- €	51.581,00 €	45.680,00 €	5.901,00 €	11,44%	51.581,00 €	N/A
19/4/21	- €	51.581,00 €	45.680,00 €	5.901,00 €	11,44%	51.581,00 €	N/A
26/4/21	4.851.581,00 €	4.851.581,00 €	4.672.924,00 €	178.657,00 €	3,68%	- €	0,00%
10/5/21	4.915.281,00 €	4.915.281,00 €	4.735.648,75 €	179.632,25 €	3,65%	- €	0,00%
17/5/21	4.915.281,00 €	4.915.281,00 €	4.735.648,75 €	179.632,25 €	3,65%	- €	0,00%
24/5/21	4.915.281,00 €	4.963.904,00 €	4.782.036,25 €	181.867,75 €	3,66%	48.623,00 €	0,99%
31/5/21	4.915.281,00 €	5.341.696,00 €	5.169.177,25 €	172.518,75 €	3,23%	426.415,00 €	8,68%
7/6/21	5.121.651,00 €	5.559.800,00 €	5.363.094,25 €	196.705,75 €	3,54%	438.149,00 €	8,55%
14/6/21	5.121.651,00 €	5.559.800,00 €	5.363.094,25 €	196.705,75 €	3,54%	438.149,00 €	8,55%
21/6/21	5.499.443,00 €	5.559.800,00 €	5.363.094,25 €	196.705,75 €	3,54%	60.357,00 €	1,10%
28/6/21	5.499.443,00 €	5.622.626,00 €	5.432.089,78 €	190.536,22 €	3,39%	123.183,00 €	2,24%
5/7/21	5.562.269,00 €	5.622.626,00 €	5.432.089,78 €	190.536,22 €	3,39%	60.357,00 €	1,09%
12/7/21	5.562.269,00 €	5.622.626,00 €	5.432.089,78 €	190.536,22 €	3,39%	60.357,00 €	1,09%
19/7/21	5.622.626,00 €	5.622.626,00 €	5.432.089,78 €	190.536,22 €	3,39%	- €	0,00%
26/7/21	5.622.626,00 €	5.622.626,00 €	5.432.089,78 €	190.536,22 €	3,39%	- €	0,00%

Tabla 40: Tabla de desviaciones de coste y programación

Fecha	BCWS	BCWP	ACWP	CPI	SPI
29/3/21	- €	51.581,00 €	45.680,00 €	1,129	N/A
5/4/21	- €	51.581,00 €	45.680,00 €	1,129	N/A
12/4/21	- €	51.581,00 €	45.680,00 €	1,129	N/A
19/4/21	- €	51.581,00 €	45.680,00 €	1,129	N/A
26/4/21	4.851.581,00 €	4.851.581,00 €	4.672.924,00 €	1,038	1,000
10/5/21	4.915.281,00 €	4.915.281,00 €	4.735.648,75 €	1,038	1,000
17/5/21	4.915.281,00 €	4.915.281,00 €	4.735.648,75 €	1,038	1,000
24/5/21	4.915.281,00 €	4.963.904,00 €	4.782.036,25 €	1,038	1,010
31/5/21	4.915.281,00 €	5.341.696,00 €	5.169.177,25 €	1,033	1,087
7/6/21	5.121.651,00 €	5.559.800,00 €	5.363.094,25 €	1,037	1,086
14/6/21	5.121.651,00 €	5.559.800,00 €	5.363.094,25 €	1,037	1,086
21/6/21	5.499.443,00 €	5.559.800,00 €	5.363.094,25 €	1,037	1,011
28/6/21	5.499.443,00 €	5.622.626,00 €	5.432.089,78 €	1,035	1,022
5/7/21	5.562.269,00 €	5.622.626,00 €	5.432.089,78 €	1,035	1,011
12/7/21	5.562.269,00 €	5.622.626,00 €	5.432.089,78 €	1,035	1,011
19/7/21	5.622.626,00 €	5.622.626,00 €	5.432.089,78 €	1,035	1,000
26/7/21	5.622.626,00 €	5.622.626,00 €	5.432.089,78 €	1,035	1,000

Tabla 41: Tabla de indicador de rendimientos de coste y programación

Que el indicador de rendimiento de costes (CPI) sea mayor que la unidad y la desviación del coste sea positiva implica que los gastos realizados no superan el coste previsto en la planificación, y por tanto se han cumplido los objetivos en términos de precio.

La desviación de la programación sin embargo, tiene valores positivos pero muy próximos a cero, coincidiendo con su correspondiente indicador (SPI), próximos a la unidad.

Por tanto, se debe gestionar con especial cuidado los tiempos empleados en las tareas futuras, para poder cumplir con las metas programadas.

7.3 ANÁLISIS DE SOSTENIBILIDAD

La empresa Elecnor tiene como compromiso desarrollar proyectos conforme a su Responsabilidad Corporativa y a los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Es por ello por lo que en este proyecto de Electrificación Ferroviaria se tienen en cuenta de manera muy significativa a la hora de tomar decisiones. [38]

En este Trabajo de Fin de Máster se han analizado los siguientes aspectos:

ESTÁNDARES Y NORMATIVAS DE CALIDAD

Durante el proceso de diseño del equipamiento de la subestación se han establecido como requisito diferentes normativas, como por ejemplo el certificado ISO 14001, Sistemas de Gestión Ambiental. Este certificado permite escoger aquellos proveedores socialmente responsables, que optimizan la gestión de recursos y residuos y reducen aquellos aspectos ambientales negativos debido a su actividad. [39]

ENSAYOS DEL EQUIPAMIENTO

Por otro lado, durante el análisis de los ensayos tipo para cada uno de los suministros del Plan de Compras, se han demandado tests específicos a los proveedores, para que el equipamiento funcione ante todas las condiciones atmosféricas que se puedan dar y que no genere ningún peligro o riesgo para el medio ambiente o los operarios. Además, una vez elegido al proveedor adecuado para cada suministro, se realizan aquellos ensayos de fabricación que aseguren el cumplimiento adecuado de todas las especificaciones establecidas en la fase de diseño.

TRANSPORTE DE MATERIAL

El objetivo del transporte del material a la subestación es la optimización y por tanto reducción del número de contenedores a transportar, agrupando el envío de aquellos suministros cuyo proceso de fabricación se realice en tiempos y lugares cercanos.

MEDIDAS ANTE LOS IMPACTOS MEDIOAMBIENTALES DE LA SUBESTACIÓN

1. Impacto del ruido de la subestación

Los transformadores de potencia y los interruptores son las dos principales fuentes sonoras de una subestación [11]. Por ello se ha tenido en cuenta un valor máximo de ruido a la hora de realizar el diseño de este equipamiento, rechazando la oferta de aquellos proveedores que no cumplan con este requerimiento.

2. Riesgo de incendio de la subestación

Un incendio en una subestación puede estar causado por el calentamiento provocado por empalmes defectuosos, sobrecargas y cortocircuitos; arcos eléctricos debido a sobretensiones y pérdidas de aislamiento; o descargas atmosféricas. Además, los principales combustibles en una subestación se encuentran en los aceites aislantes de los transformadores o en los aislantes sólidos de los cables [11]. Por ello, una de las medidas tomadas a la hora de determinar el equipamiento del Plan de Compras ha sido añadir equipos específicos para evitar la posibilidad de sufrir este impacto medioambiental.

3. Integración de la subestación con el entorno

Para resolver este aspecto se ha optado por la realización de estudios de impacto en el entorno de la subestación.

Además, durante el Proceso de Compras y Logística del proyecto que se llevará a cabo durante los siguientes meses se estudiarán nuevos aspectos medioambientales que mejoren la calidad del proceso y cumplan con los ODS.

Todo lo explicado en este apartado permite una alineación del proyecto con los siguientes objetivos:

Objetivo 3: Salud y bienestar

Objetivo 9: Industria, Innovación e Infraestructura

Objetivo 12: Producción y consumos responsables[40]

Capítulo 8. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

El presente trabajo ha consistido en el estudio de la Cadena de Suministro de una Subestación de Tracción, para un proyecto de Electrificación Ferroviaria en Lituania. Sin embargo, se ha pretendido realizar un análisis detallado de todas las fases del proceso .y a la vez adaptable a cualquier proyecto de Cadena de Suministro, también llamada Supply Chain. El objetivo fundamental del Trabajo de Fin de Máster ha sido establecer una correcta planificación para cumplir con los objetivos de construcción de la subestación de Lentvaris. Sin embargo, se han implantado una serie de directrices claves para también poder aplicarlo a los suministros de la línea área de catenaria, de las otras cinco subestaciones y de los ocho centros de transformación.

Para poder cumplir con las metas propuestas en el proyecto, se ha comenzado estableciendo un análisis técnico de la subestación, centrándose en las partes que afectarían al Proceso de Compras del material y equipamiento necesario. Una vez estudiada la subestación, en términos de equipamiento eléctrico y obra civil, se ha analizado el proceso de desmantelamiento, construcción e instalación del equipamiento de la subestación y se han extraído los hitos correspondientes a la Cadena de Suministro.

Para definir correctamente la planificación de las Compras y Logística del material, se han explicado cada una de las fases del proceso, estableciendo los aspectos claves para el cumplimiento de los objetivos en términos de alcance, tiempo, calidad y coste. Una vez analizados, se ha realizado un estudio de tiempos y costes del proyecto para realizar una planificación detallada. A partir de la herramienta de Diagrama de Gantt, se ha podido establecer un orden de prioridades de los distintos suministros así como el cálculo de la inversión necesaria en el proyecto.

Además, se ha realizado un estudio de los posibles riesgos del proyecto, analizando su importancia, en términos de probabilidad e impacto, para establecer medidas de prevención y contingencia en aquellos riesgos críticos y que por tanto, puedan suponer grandes consecuencias en el proyecto.

Por otro lado, se han establecido una serie de indicadores para llevar a cabo una trazabilidad y seguimiento “*on time*” del proyecto y realizar los cambios convenientes si hay algún aspecto que no funcionase acorde a lo planeado.

Por último, se ha realizado un análisis de los resultados obtenidos a 30 de junio de 2021, para poder comprobar si el proyecto cumple con las expectativas establecidas en la planificación.

Una vez elaborado el documento se pretende utilizar como una guía para continuar con el Proceso de Compras y Logística de los suministros de la subestación y con las otras partes del proyecto de Electrificación Ferroviaria. Además, debido a su versatilidad, es una herramienta de enorme utilidad a la hora de gestionar la planificación de otros proyectos de infraestructuras de similar o diferente naturaleza, de forma eficaz y acorde a las metas establecidas.

No es menos importante indicar que este tipo de actividades constructivas de gran entidad y calado socio-económico en un país, junto con la consecución del éxito final en la gestión de proyectos sobre la base mencionada en el presente documento, tienen un impacto enorme a la hora de aportar valor social, vertebrando y mejorando las comunicaciones entre diferentes poblaciones y por lo tanto entre las personas, percepción positiva y satisfacción del cliente final, afianzamiento de la buena reputación de la empresa contratista dentro de su sector de actividad y al mismo tiempo, ejecutándose de manera respetuosa y sostenible con el medio ambiente acorde al compromiso a los nuevos tiempos.

Capítulo 9. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Inabelec, “Vilnius-Klaipeda Railway Electrification Project.” 2021.
- [2] Elecnor, “Elecnor se adjudica uno de los proyectos estratégicos de la red ferroviaria en Lituania.” <https://www.elecnor.com/noticias/elecnor-se-adjudica-uno-de-los-proyectos-estrategicos-de-la-red-ferroviaria-en-lituania>.
- [3] J. Heagney, *Fundamentals of Project Management*, Quinta Edi. Nueva York, 2016.
- [4] I. The Standish Group International, “CHAOS Report 2015,” *CHAOS Rep. 2015*, p. 13, 2015, [Online]. Available: https://www.standishgroup.com/sample_research_files/CHAOSReport2015-Final.pdf.
- [5] J. de N. Moríñigo, J. Sánchez, M. Criado, and I. Petrova, “UNIT 1 Project Management M Overview_v9.” 2020.
- [6] E. de Docunecta, “Qué es la gestión de proyectos: metodología y herramientas.” [/www.docunecta.com/blog/que-es-la-gestion-de-proyectos](http://www.docunecta.com/blog/que-es-la-gestion-de-proyectos).
- [7] D. de O. I. E. T. S. de I. ICAI, “Unit 5 Agile Methodology v4.” .
- [8] G. Elizondo, “PMBOK.” <http://udemced.pbworks.com/w/page/6712372/PMBOK>.
- [9] A. Allegue, “Las 5 fases de un proyecto: Planificación y ejecución,” 2018. <https://lecciondeaprendizaje.blogspot.com/2018/04/las-5-fases-de-un-proyecto.html>.
- [10] D. de O. I. E. T. S. de I. ICAI, “Tema 3. Logística y cadena de suministro.” .
- [11] J. Díaz Pampín, “APUNTES DE: CENTRALES y SUBESTACIONES ELÉCTRICAS Departamento de Ingeniería Eléctrica.” 2018.
- [12] C.T.C, “Transformadores de potencia.” <http://www.ctctrafo.es/transformadores-de-potencia/>.
- [13] A. Tecnología, “Diferencias entre el transformador seco y el de aceite.” <https://altatecnologia.com.mx/diferencias-entre-el-transformador-seco-y-el-de-aceite/>.
- [14] J. R. Martínez, “Diseño de una subestación de tracción de 25/3,3 kV en corriente continua,” Universitat Politècnica de Catalunya, 2019.
- [15] Wikipedia, “Subestación de tracción.”

- https://es.wikipedia.org/wiki/Subestación_de_tracción.
- [16] I. E. Department, “Lentvaris Technical Design.” 2021.
- [17] M. J. Cepeda, “Dismantling Equipment Layout.” 2021.
- [18] M. J. Cepeda, “Lentvaris 110 kV Single Line Diagram.” 2021.
- [19] M. J. Cepeda, “Plano de la sección de embarrado.” 2021.
- [20] M. J. Cepeda, “Plano de la sección de línea L-VE3 - T1.” 2021.
- [21] M. J. Cepeda, “Plano de la sección T2.” 2021.
- [22] M. J. Cepeda, “Lentvaris DLB 27,5 kV Single Line Diagram.” .
- [23] Jema Irizar Group, “Convertidor Estático de Frecuencia. Principio de funcionamiento, diseño y prestaciones generales del equipo.” [Online]. Available: <https://www.jemaenergy.com/es/producto/convertidor-estatico-de-frecuencia/>.
- [24] M. J. Cepeda, “Plano de la sección L-Vilnius - SFC.” 2021.
- [25] M. J. Cepeda, “Lentvaris traction system 27,5 kV Single Line Diagram,” 2021.
- [26] M. J. Cepeda, “Lentvaris AB 10 kV Single Line Diagram.” 2021.
- [27] M. J. Cepeda, “Lentvaris Substation plan R11.” 2021.
- [28] I. Povedano and C. Llorente, “Purchasing Management Procedure.” 2020.
- [29] IContainers, “Packing list: qué es y cómo rellenarlo,” 2018.
[ps://www.icontainers.com/es/ayuda/packing-list-que-es-y-como-rellenarlo/](https://www.icontainers.com/es/ayuda/packing-list-que-es-y-como-rellenarlo/).
- [30] J. E. M. Marín, “Optimización de la logística de contenedores vacíos. Estudio de costes y beneficios para las navieras,” Universidad de Cantabria, 2013.
- [31] V. Ferrer, “El Grupaje LCL: Contenedor Parcial.” <https://vicentferrer.com/grupaje-lcl-contenedor-parcial/>.
- [32] TRANSEOP, “Incoterms 2020: ¿Qué son? Clasificación y Tipos.” 2021, [Online]. Available: <https://www.transeop.com/blog/Tipos-de-Incoterms-en-el-Transporte-marítimo/35/>.
- [33] Klawter, “¿Qué son los Incoterms? Clasificación y Tipos.” 2020, [Online]. Available: <https://klawter.com/blog/que-son-los-incoterms-tipos/>.
- [34] R. Anderson, “What Are The Different Types of Incoterms?,” 2019.
<https://www.delta-net.com/compliance/customs-controls/faqs/what-are-the-different-types-of-incoterms>.
- [35] Wikipedia, “Gestión del valor ganado,” 2020.

-
- https://es.wikipedia.org/wiki/Gestión_del_valor_ganado.
- [36] R. D. H. Warburton and V. Kanabar, “The practical calculation of schedule variance in terms of schedule,” 2008. [Online]. Available:
<https://www.pmi.org/learning/library/practical-calculation-schedule-variance-7028>.
- [37] D. de O. I. E. T. S. de I. ICAI, “UNIT 4 PM Risk Plan_v6.” .
- [38] Elecnor, “Sostenibilidad-Nuestro compromiso.” .
- [39] Aenor, “El eje de la gestión ambiental.” .
- [40] N. Unidas, “Objetivos de Desarrollo Sostenible.”
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>.