

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍA
INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE GRADO

CÁLCULO DE LA AMPACIDAD DE
LÍNEAS ELÉCTRICAS MEDIANTE EL
SOFTWARE R PARA LA INTEGRACIÓN
DE PARQUES EÓLICOS EN EL SISTEMA
ELÉCTRICO

Alumno: Extremiana, Panera, Iñigo

Directora (1): Fernández, Herrero, Elvira

Directora (2): Planas, Fullaondo, Estefania

Curso: <2018-2019>

Fecha: <22 de julio de 2019>

RESUMEN / LABURPENA / ABSTRACT

RESUMEN

El objetivo del presente proyecto es optimizar la transmisión de energía en las líneas aéreas para mejorar la evacuación de energía generada por parques eólicos. La ampacidad es la máxima corriente que puede circular por un conductor sin provocar daños en él, que depende de las características propias del conductor y las condiciones ambientales del lugar en el que se coloca.

Es importante conocer la ampacidad alcanzada para las diferentes situaciones climatológicas, que se calcula en el estudio mediante la programación en software R, partiendo de los datos obtenidos por sensores instalados en Sakana. Algunas de las empresas del ámbito eléctrico asumen ciertas condiciones para abastecer a la línea de forma constante durante un periodo de tiempo. Por ello, el estudio se basa en la comparación de la corriente obtenida mediante las condiciones asumidas, y la ampacidad calculada mediante sistemas de monitorización en tiempo real. A su vez, se realiza una comparación entre los diferentes sensores utilizados para la monitorización.

Palabras clave: Parque eólico, ampacidad, Software R, Sakana, sistemas de monitorización.

LABURPENA

Proiektu honen helburua aireko linien transmisioa optimizatzea da, parke eolikoetan sortutako energiaren ebakuazio-prozesua hobetzeko. Anpazitatea, eroale batetik zirkulatu dezakeen korrante maximoari deritzo, betiere, eroaleak kalterik jasotzen ez duela ziurtatuz. Kontuan hartzekoa da eroalearen ezaugarriek eta ingurugiroko egoerek anpazitatean eragina dutela.

Hala, egoera klimatologiko ezberdinetan lortutako anpazitatea ezagutzea garrantzitsua da. Sakanan kokatutako sentsoreek jasotako datuak erabiliko dira R software-aren bidez kalkulua burutzeko. Esparru elektrikoko enpresa batzuek, egoera klimatologikoak suposatzen dituzte denbora tarte batean, konduktoretik korrante balio konstantea zirkularazteko. Horregatik, proiektua suposatutako egoeretatik kalkulaturako korrante konstantearen eta monitorizazio sistemak erabiliz kalkulaturako anpazitatearen arteko konparaketan oinarritzen da. Gainera, monitorizazioan erabilitako sentso ezberdinen arteko konparaketa burutzen da.

Hitz gakoak: Parke eolikoa, anpazitatea, R software-a, Sakana, monitorizazio-sistemak.

ABSTRACT:

The purpose of this project is to optimize the transmission of energy in the air lines to improve the evacuation of energy generated by wind farms. The ampacity is the maximum

current that can flow through a conductor without causing damage to it, which depends on the characteristics of the conductor and the environmental conditions of the place where it is placed.

It is important to know the ampacity reached for the different climatologic situations, which is calculated in the study by programming R software, based on the data obtained by sensors installed in Sakana. Some of the companies in the electric field assume certain conditions to supply the line on a constant basis over a period of time. Therefore, the study is based on the comparison of the current obtained by the assumed conditions, and the ampacity calculated by real-time monitoring systems. In turn, a comparison is made between the different sensors used for monitoring.

Key words: Wind farm, ampacity, R software, Sakana, monitoring systems.

ÍNDICE

Lista de tablas, ilustraciones, gráficas y acrónimos.....	4
1. MEMORIA.....	7
1.1. INTRODUCCIÓN.....	7
1.2. CONTEXTO.....	9
1.3. OBJETIVOS Y ALCANCE DEL TRABAJO	11
1.3.1. Objetivos.....	11
1.3.2. Alcance	11
1.4. BENEFICIOS QUE APORTA EL TRABAJO	13
1.5. ANÁLISIS DEL ESTADO DEL ARTE	14
1.5.1. Energías renovables. Energía eólica	14
1.5.2. Sistemas DLR (Dynamic Line Rating).....	15
1.5.3. Conductores de altas prestaciones térmicas	17
1.5.4. CIGRE: Procedimiento matemático para el cálculo de ampacidad	19
1.6. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS	20
1.7. SELECCIÓN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA	22
2. METODOLOGÍA SEGUIDA EN EL DESARROLLO DEL TRABAJO	23
2.1. PROCEDIMIENTOS.....	23
2.1.1. Programa R paso por paso:	24
2.2. DESCRIPCIÓN DE LOS RESULTADOS.....	54
2.2.1. Análisis ampacidad 2012-2015	54
2.2.2. Análisis ampacidad 2015-2018	75
2.3. DIAGRAMA DE GANTT	86
3. ASPECTOS ECONÓMICOS	89
3.1. DESCRIPCIÓN DEL PRESUPUESTO	89
4. CONCLUSIONES	90
5. BIBLIOGRAFÍA	92

LISTA DE TABLAS, ILUSTRACIONES, GRÁFICAS Y ACRÓNIMOS

Lista de acrónimos

-
- REI: Red Eléctrica Inteligente
- DLR: Dynamic Line Rating
- CIGRE: Consejo Internacional de Grandes Redes Eléctricas
- TIC: Tecnologías de Información y Comunicación

Lista de figuras

<i>Figura 1: Construcción del conductor. Fuente: J-Power Systems Corp.</i>	18
<i>Figura 2: Comparación de ampacidad y flexión entre conductores. Fuente: J-Power Systems Corp.</i>	19
<i>Figura 3: Panel principal plataforma Rstudio. Fuente: Elaboración propia</i>	26
<i>Figura 4: Programa construcción de matriz conjunta. Fuente: Elaboración propia</i>	28
<i>Figura 5: Panel principal plataforma Rstudio para visualización de matriz conjunta. Fuente: Elaboración propia</i>	29
<i>Figura 6: Programa corrección de la dirección del viento en matriz conjunta. Fuente: Elaboración propia.</i>	31
<i>Figura 7: Programa cálculo de ganancias por radiación solar. Fuente: Elaboración propia</i>	35
<i>Figura 8: Fragmento programa cálculo de ganancias de calor por radiación solar. Fuente: Elaboración propia</i>	36
<i>Figura 9: Programa cálculo de pérdidas de calor por radiación. Fuente: Elaboración propia</i>	37
<i>Figura 10: Programa cálculo de número de Nusselt parte 1. Fuente: Elaboración propia</i>	42
<i>Figura 11: Programa cálculo de número de Nusselt parte 2. Fuente: Elaboración propia</i>	43
<i>Figura 12: Programa cálculo de número de Nusselt parte 3. Fuente: Elaboración propia</i>	44
<i>Figura 13: Programa cálculo de pérdidas de calor por convección. Fuente: Elaboración propia</i>	45
<i>Figura 14: Programa cálculo de ganancias de calor por efecto Joule y ampacidad. Fuente: Elaboración propia</i>	46
<i>Figura 15: Ejemplo resultados ampacidad erróneos. Fuente: Elaboración propia</i>	47
<i>Figura 16: Ejemplo matriz del viento con valores negativos. Fuente: Elaboración propia</i>	48
<i>Figura 17: Sentencia sustitución de valores erróneos por nulos. Fuente: Elaboración propia</i>	48
<i>Figura 18: Programa añadir fechas a matriz de ampacidad. Fuente: Elaboración propia</i>	49
<i>Figura 19: Resultado matriz fechas y ampacidad. Fuente: Elaboración propia</i>	50
<i>Figura 20: Programa eliminación de valores nulos. Fuente: Elaboración propia</i>	50
<i>Figura 21: Programa cálculo corriente estática para hipótesis asumida. Fuente: Elaboración propia</i>	52
<i>Figura 22: Matriz A de condiciones asumidas. Fuente: Elaboración propia</i>	52

Figura 23: Programa creación de gráficos avanzados. Fuente: Elaboración propia	55
Figura 24: Ejemplo de gráfico avanzado obtenido para análisis de ampacidad. Fuente: Elaboración propia	56
Figura 25: Programa comparación ampacidad dinámica y corriente estática. Fuente: Elaboración propia	57
Figura 26: Cálculo de beneficio posible en A/min Fuente: Elaboración propia	57
Figura 27: Resultados de beneficio en A/min por estaciones 2012-2015. Fuente: Elaboración propia.....	58
Figura 28: Gráfico de ampacidad en Invierno de 2014. Fuente: Elaboración propia	60
Figura 29: Gráfico de ampacidad subida 6-18 Febrero de 2014. Fuente: Elaboración propia...	61
Figura 30: Gráfico de ampacidad subida 6-7 Febrero de 2014. Fuente: Elaboración propia.....	62
Figura 31: Gráfico de ampacidad subida 11-12 Febrero de 2014. Fuente: Elaboración propia.	63
Figura 32: Pico más alto 11-12 Febrero de 2014. Fuente: Elaboración propia	64
Figura 33: Gráfico de ampacidad bajada 13-14 Febrero de 2014. Fuente: Elaboración propia	65
Figura 34: Gráfico de ampacidad bajada brusca 16-17 Febrero de 2014. Fuente: Elaboración propia.....	66
Figura 35: Gráfico de ampacidad Verano de 2014. Fuente: Elaboración propia.....	67
Figura 36: Gráfico de ampacidad subida 9-17 Julio de 2014. Fuente: Elaboración propia	68
Figura 37: Pico más alto 11 Julio de 2014. Fuente: Elaboración propia.....	69
Figura 38: Gráfico de ampacidad bajada 1-8 Agosto de 2014. Fuente: Elaboración propia	70
Figura 39: Valores más bajos 4 Agosto de 2014. Fuente: Elaboración propia.....	71
Figura 40: Gráfico de ampacidad subida 14-22 Septiembre de 2014. Fuente: Elaboración propia	72
Figura 41: Gráfico de ampacidad subida 17-18 Septiembre de 2014. Fuente: Elaboración propia	73
Figura 43: Matriz conjunta valores cercanos al pico del 17 Septiembre de 2014. Fuente: Elaboración propia	74
Figura 42: Pico 17 Septiembre de 2014. Fuente: Elaboración propia	74
Figura 44: Gráfico de ampacidad calma nocturna 18 Septiembre de 2014. Fuente: Elaboración propia.....	75
Figura 45: Programa graficar ampacidad para sensores "Herter" y "Progress". Fuente: Elaboración propia	77
Figura 46: Resultados de beneficio en A/min por estaciones 2015-2018. Fuente: Elaboración propia.....	78
Figura 47: Gráfico comparación ampacidad "Progress" vs "Herter". Fuente: Elaboración propia	79
Figura 48: Gráfico comparación ampacidad Otoño de 2014. Fuente: Elaboración propia.....	80
Figura 49: Gráfico comparación ampacidad valores bajos 24-26 Noviembre de 2016. Fuente: Elaboración propia	81

Figura 50: Pico más bajo comparación ampacidad 24 Noviembre de 2016. Fuente: Elaboración propia..... 82

Figura 51: Comparación nocturna del 24 Noviembre de 2016 para valores de temperatura ambiente y radiación solar de sensores. Fuente: Elaboración propia 83

Figura 52: Comparación mañana del 24 Noviembre de 2016 para valores de temperatura ambiente y radiación solar de sensores. Fuente: Elaboración propia 83

Figura 53: Comparación de ampacidad valores altos 6 Diciembre de 2016. Fuente: Elaboración propia..... 84

Figura 54: Comparación de ampacidad pico más alto 6 Diciembre de 2016. Fuente: Elaboración propia..... 84

Lista de tablas

Tabla 1: Constantes $B1$ y n para cálculo de Nusselt forzado 39

Tabla 2: constantes $A1$, $B2$ y $m1$ para cálculo de Nusselt forzado..... 40

Tabla 3: Constantes $A2$ y $m2$ para cálculo de Nusselt natural 40

Tabla 4: Diagrama de Gantt asociado al trabajo..... 87

Tabla 5: Presupuesto elaborado al trabajo. 89

1. MEMORIA

1.1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de fin de grado titulado “Cálculo de la ampacidad de líneas eléctricas mediante el Software R para la integración de parques eólicos en el sistema eléctrico” se elabora con la finalidad de obtener el título de Grado en Ingeniería en Tecnología Industrial.

El desarrollo de la sociedad en términos económicos está ligado con el suministro de energía eléctrica en base a la demanda del usuario. A medida que se evoluciona en los diferentes campos, ya sea industrial, comercial, etc., la demanda del usuario aumenta, y a su vez, el suministro de energía eléctrica. De este modo, la utilización de energía eléctrica es cada vez mayor.

La importancia que ha cobrado la energía eléctrica en el desarrollo de las actividades diarias obliga a la sociedad a pensar y actuar continuamente para lograr un uso más eficiente de ella. Con el principal objetivo de un mayor aprovechamiento en las líneas de transmisión, este estudio propone una alternativa que permite una mayor conducción de corriente a través de los conductores en las líneas, aprovechando al máximo las características del conductor en base a la subida adicional de temperatura de operación del mismo.

La optimización de transmisión de potencia en las líneas ofrece diferentes posibilidades para su aplicación. Una de las más desarrolladas en vistas al futuro es la integración de energías renovables, concretamente la energía eólica. La energía eólica resulta barata y muy limpia en términos medioambientales, pero, su generación de energía se limita en base a la capacidad de evacuación de las líneas a las que se conecta. Esta cantidad que se pierde se reemplaza con la utilización de otro tipo de energías, que resultan más problemáticas. Por un lado, económicamente resultan más caras, y por otro, más dañinas hacia el medioambiente.

La capacidad de transmisión de una línea se ve afectada por diversos factores, la mayoría de ellos meteorológicos. Tradicionalmente, los operadores de líneas eléctricas fijan la capacidad de transmisión de una línea basándose en estimaciones de datos meteorológicos, asumiendo condiciones desfavorables para periodos de tiempo largos.

Este estudio propone utilizar sistemas DLR, que se trata de sensores que permiten monitorizar condiciones meteorológicas a tiempo real y ofrecen al operador la posibilidad de aumentar o disminuir la capacidad de transmisión de la línea en base a los datos obtenidos. Se facilita de este modo el aprovechamiento de energía generada en parques eólicos, evitando y disminuyendo el uso de otro tipo de energías. A su vez, se ahorra en la construcción de nuevas líneas eléctricas, invirtiendo en la mejora de las líneas existentes.

El proceso de maximizar la capacidad de transmisión de una línea partiendo de los datos obtenidos por sensores meteorológicos es complejo, y se realiza en este estudio mediante un método pautado llamado CIGRE. Se utiliza el software R como herramienta para programar y ejecutar paso por paso el método que ofrezca al operador la máxima capacidad de transmisión posible en cada instante, asumiendo que el conductor alcanza la temperatura máxima admisible.

1.2. CONTEXTO

El desarrollo de la sociedad y el continuo aumento en la demanda energética ha provocado durante muchos años la necesidad de nuevas fuentes de generación de energía. Hasta finales del siglo XX el peso de la energía renovable en España fue mínimo en relación con la demanda de energía primaria. Es entonces cuando los diferentes gobiernos comenzaron a desarrollar planes para la mejora en este ámbito. (Ministerio para la Transición Ecológica) (Atalaya Generación, 2017)

Se desarrollo el “*Plan de Fomento de las Energías Renovables*” durante los años 2000 y 2010. Tenía como objetivo generar el 30% de la electricidad y el 12% de la energía primaria a partir de fuentes renovables para 2010. Se cumplió con un 35% de generación de electricidad, y se quedó a las puertas del objetivo de energía primaria, con un 11.1%. Cabe destacar la importancia de la energía eólica, cuya generación fue el 16% de la demanda eléctrica (Plan de Fomento de las Energías Renovables en España, 1999).

El 2009 se convierte en un punto de inflexión para la energía eólica en España, adelantando al carbón en la plaza de tercera fuente energía (Blasco Hedo, 2013).

La tendencia ascendente en la primera década del siglo XXI se mantiene y se desarrolla una ampliación del “*Plan de Fomento de las Energías Renovables*” centrado en los años 2011-2020. En 2018, la energía eólica alcanza una cantidad de 23.484 MW de potencia acumulada. Ocupa el segundo puesto en fuentes de generación eléctrica y lleva a España a ser el quinto país del mundo por potencia eólica instalada, tras China, Estados Unidos, Alemania e India.

La energía eólica alcanza un valor del 19% de la energía consumida en el año 2018, quedándose a punto de cumplir el objetivo del 20% de energía consumida para 2020, fijado por un acuerdo internacional. Se encuentran instalados 1.123 parques eólicos en 807 municipios del país, evitando la emisión de 25 millones de toneladas de CO₂ al año. Además, el sector eólico ofrece 22.578 puestos de trabajo (Asociación Empresarial Eólica, 2019).

Por otro lado, la irrupción de las energías renovables provocó el desarrollo de la tecnología REI. Una red inteligente es aquella que puede integrar de forma eficiente el comportamiento y las acciones de todos los usuarios conectados a ella, de tal forma que se asegure un sistema energético sostenible y eficiente, con bajas pérdidas y altos niveles de calidad y seguridad de suministro (Red Eléctrica España).

Se puede definir como la integración dinámica de los desarrollos en ingeniería eléctrica y en almacenamiento energético, y los avances de las TIC, dentro del negocio de la energía eléctrica (generación, transmisión, distribución, almacenamiento y comercialización, incluyendo las energías alternativas), permitiendo así que las áreas de coordinación de protecciones,

control, instrumentación, medida, calidad y administración de energía, etc., sean concatenadas en un solo sistema de gestión, con el objetivo primordial de realizar un uso eficiente y racional de la energía eléctrica (Informática Empresarial, 2018).

La REI es una forma de gestionar eficientemente la producción de electricidad mediante el uso de la informática para su optimización, y la distribución, equilibrando la relación productor-consumidor. Ayuda a ahorrar energía, reducir costes y reducir las emisiones de CO₂ y calentamiento global (Universidad de Santiago de Compostela, 2012).

En España, al igual que en otros países, se desarrolla la aplicación de REI mediante la utilización de sistemas DLR colocados en las líneas eléctricas. En algunos de los casos, con el objetivo de lograr una evacuación optimizada de energía generada por parques eólicos (Madrazo, y otros, 2013) , (Fernandez, Albizu, Bedialauneta, Mazón, & Leite, 2016).

1.3. OBJETIVOS Y ALCANCE DEL TRABAJO

1.3.1.Objetivos

El objetivo principal de este estudio es crear un programa en el software R, capaz de calcular en un periodo de tiempo concreto, la ampacidad de una línea eléctrica, optimizando la capacidad de evacuación de las líneas conectadas a parques eólicos.

Para cumplir dicho objetivo, se han de cumplir los siguientes sub-objetivos:

- Revisar y agrupar los datos obtenidos para facilitar su utilización, purgando los datos erráticos e incongruentes
- Conocimiento acerca del software R y su plataforma de extensión Rstudio
- Mayor comprensión acerca del impacto de los factores meteorológicos en la capacidad de transmisión de las redes eléctricas
- Comparación de ampacidad lograda por sensores diferentes
- Comparación de ampacidad lograda por límites dinámicos y estáticos

1.3.2.Alcance

Durante los años 2012 y 2018 se realizó una obtención de datos mediante sensores de monitorización aplicados en la línea eléctrica de Sakana1, clasificando el efecto de diversos factores meteorológicos y el comportamiento del conductor utilizado.

Así, este proyecto comienza en el análisis y comprensión de los datos obtenidos.

Consecuentemente, se descarga el software R y su plataforma de extensión Rstudio con la que se desea trabajar. El conocimiento acerca del software es necesario, por lo que previamente a realizar cualquier cálculo, se efectúa un estudio del conocimiento del mismo.

Una vez estudiado el funcionamiento del software, se agrupan los datos obtenidos coincidentes en el tiempo, y se eliminan los sobrantes.

El proceso de cálculo de ampacidad se realiza partiendo de datos obtenidos por diferentes sensores. Por un lado, los datos de temperatura ambiente y radiación solar corresponden a sensores tipo "Progress" y "Herter", y por otro, únicamente se utiliza el sensor tipo "Windsonic" para el análisis del comportamiento del viento. Con el objetivo de la comparación de ampacidad alcanzada, se lleva a cabo una agrupación de datos obtenidos por sensores "Progress" y "Windsonic", y de sensores "Herter" y "Windsonic", ya que los datos de viento coinciden en ambos casos.

Las agrupaciones de datos se utilizan para realizar el cálculo de ampacidad pautado por un método matemático denominado como CIGRE, cuyo procedimiento es el mismo para ambos casos.

De forma paralela, se analiza una situación de limitación estática de la línea, en la que se trabaja con la misma corriente durante un periodo largo de tiempo. Se asumen una serie de condiciones meteorológicas y se lleva a cabo el cálculo de corriente para este tipo de situación. El resultado servirá para la comparación de de ampacidad lograda mediante sistemas de monitorización y la corriente estática obtenida.

El proyecto concluye con el interés en la utilización de sistemas de monitorización a tiempo real, para la posible mejora en la evacuación de las líneas conectadas a parques eólicos.

1.4. BENEFICIOS QUE APORTA EL TRABAJO

El cumplimiento del objetivo principal del estudio definido como el cálculo de ampacidad mediante un software de programación, trae consigo una amplia variedad de beneficios.

En primer lugar, respecto al ámbito social, ofrece una posibilidad para la programación del método matemático CIGRE. Se trata del software R y su extensión Rstudio, que pautadamente se expone en el estudio la forma de llevarse a cabo. Se pretende hacer de forma visual y comprensible para la posibilidad de resultar interesante el conocimiento de su uso. Por otro lado, puede ser útil para el interés en la utilización del software para procesos matemáticos, ya sea para la aplicación en el ámbito eléctrico o en cualquier otro.

En segundo lugar, se ofrece un análisis profundo para las diferentes estaciones que componen el año. Se estudia el comportamiento de la capacidad de transmisión de la línea ante situaciones medioambientales diferentes, de lo que se deducen conclusiones acerca del interés que ofrecen los sistemas de monitorización para la evacuación de energía eólica generada. Se realiza la comparación con una empresa que asume condiciones meteorológicas constantes durante un periodo largo, por lo que, puede despertarse el interés acerca de invertir en sistemas de monitorización de datos. Además, se proponen dos combinaciones de sistemas de monitorización, que podrían ser útiles para compras y aplicaciones futuras en líneas.

Por último, en lo referido al aspecto económico, el estudio ofrece un mayor conocimiento en la optimización de la transmisión de la línea. Se deduce que la utilización de los sistemas de monitorización resulta beneficiosa económicamente, ya que su coste es menor que las pérdidas de energía generada que supone el no tenerlos. Se evitan, a su vez, los costes por congestión en la línea. Por lo tanto, el estudio podría resultar interesante para la inversión futura en aplicación de sistemas de monitorización en la conexión de parques eólicos con líneas eléctricas.

1.5. ANÁLISIS DEL ESTADO DEL ARTE

El continuo incremento de la demanda de energía eléctrica en los diferentes sectores de la sociedad viene ligada con una necesidad de aumento en la capacidad de transporte de las líneas que unen los centros de generación con los de consumo. Existen diferentes vías para lograr una mayor capacidad, como puede ser la inversión en líneas nuevas o la reforma y mejora de líneas existentes. En el estudio se pretende analizar una mejora de la línea existente para la evacuación de la energía generada por parques eólicos (Consejo Económico y Social España, 2017).

1.5.1. Energías renovables. Energía eólica

Teniendo en cuenta el protocolo de Kyoto, un acuerdo internacional firmado con el fin de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y de esta forma minimizar los posibles efectos del calentamiento global, y los niveles de emisión de CO₂ alcanzados, la Comisión Europea decidió fijar un objetivo de cara al año 2020. Este nuevo reto pretende alcanzar un 20% del consumo energético originado por energías renovables (Wang & Yang., 2014), (Wang, Yin, Zhang, & Zhang, 2012), (Blackman, Morgenstern, Murcia, & Brigard, 2006), (Borrás, 2018)

Los parques eólicos son una de las fuentes de energía renovable más importantes actualmente, sobre todo en países como España, Alemania, Dinamarca, Inglaterra o Escocia. La energía eólica resulta barata y limpia en términos medioambientales y, por lo tanto, se sugieren diferentes opciones con el fin de una mayor generación de ella (BBC, 2019), (Ibedrola, 2019).

La construcción de nuevos parques eólicos es una de las opciones barajadas. No se requiere de un tiempo de construcción muy largo, pero podría darse la posibilidad de que se trabaje ineficientemente, puesto que si no se mejoran las líneas de evacuación, la ampliación de generación de energía no serviría de nada.

Otra de las opciones trata de repotenciar los parques eólicos existentes, reemplazando las turbinas utilizadas por otras de última generación. Podría ser beneficioso en términos de generación, pero vuelve a suceder lo mismo que anteriormente, las líneas de evacuación serían insuficientes para el aprovechamiento de la energía generada (Castro, Filgueira, Seijo, Muñoz, & Piegari, 2011), (Filgueira, Seijo, Munoz, Castro, & Piegari, 2009).

Por último, la opción más eficiente es la posibilidad de incorporar tecnología de REI a las redes existentes, aumentando la capacidad de evacuación de la potencia generada (Red Eléctrica de España)

Existe una relación directa entre las características del factor viento y la capacidad de transporte de una línea, cuyo impacto y provocación del enfriamiento del conductor resulta ser muy positivo en términos de capacidad de transporte. Esto invita a pensar en los beneficios que podrían obtenerse combinando una línea de distribución monitorizada mediante sensores a tiempo real, que ofrecen la posibilidad de poder abastecer a la línea de forma dinámica, y un parque eólico.

Las instalaciones en las que se ha optado por este tipo de proyecto, se sitúan en zonas críticas en las que pueden darse violaciones de los límites, siempre y cuando no existan pérdidas significantes. La identificación de dichas zonas se realiza mediante la inspección de líneas de transporte y recopilación de información de diseño de ellas (Protecsa).

En la gran mayoría de los casos, las condiciones meteorológicas reales resultan en un enfriamiento en comparación con los límites establecidos estáticamente. Por lo tanto, la mejora de la línea posible a realizar podría ser la aplicación de sistemas DLR aplicados para la integración en parques eólicos, que mediante la monitorización a tiempo real, ofrecen una capacidad térmica mayor. Se calcula que podría lograrse un 30% de mejora en la capacidad de transmisión estimada utilizando este tipo de tecnología (Electricidad, 2013).

1.5.2. Sistemas DLR (Dynamic Line Rating)

Diversos factores provocan variaciones en la capacidad de transporte de una línea, por un lado están las condiciones meteorológicas, y por otro, las características propias de los conductores utilizados.

Tradicionalmente, los operadores fijan unos valores determinados correspondientes a las condiciones meteorológicas. A esta forma de trabajo se le llama método estático, y en la mayoría de los casos se asumen condiciones desfavorables: temperatura ambiente alta, radiación solar alta y velocidad de viento baja. La empresa Iberdrola, por ejemplo, asume las siguientes condiciones:

- 26°C de temperatura ambiente
- 1000 W/m² de radiación solar
- 0.6 m/s de velocidad del viento.
- 90° de ángulo de impacto del viento con la línea

La capacidad de transporte de una línea está totalmente relacionada con la velocidad del viento. El enfriamiento provocado por el viento en un conductor genera un decrecimiento en la temperatura de la superficie, permitiendo así una capacidad mayor en la línea. Por lo tanto, se puede afirmar que cuanto mayor es la velocidad del viento, mayor es la capacidad de

transporte de una línea. De modo que algunas empresas optaron por investigar la posibilidad de aprovechar esta relación, para evitar la limitación de transporte en las líneas de distribución.

Frente al aumento en la demanda, existen dos opciones: construir nuevas líneas de distribución, ó, invertir en las líneas actuales. La alta densidad de población y el uso intenso de la tierra dificultan la dedicación en líneas eléctricas, sobre todo en la construcción de nuevas. Por lo tanto, algunas empresas optan por invertir en mejorar las líneas existentes, utilizando sistemas de monitorización para conseguir un aumento en la transporte.

Los sistemas DLR ofrecen al operador la posibilidad de monitorizar a tiempo real las condiciones que afectan en la variación de la capacidad de transporte de una línea, reemplazando los valores estáticos tradicionalmente considerados, y asumiendo límites dinámicos. Los sistemas DLR se componen de elementos basados en dos funciones diferentes. Por un lado, la monitorización se ejecuta mediante sensores o dispositivos aplicados en la línea o cerca de ella, que pueden ser de diferentes tipos; Power Donut, SMT, TLM, etc. Por otro lado, se coloca un software en el sistema de gestión de energía (EMS) (Uski-Joutsenvuo & Pasonen, 2013), (Olazarri, Mazon, Fernandez, Albizu, & Bedialauneta, 2015), (Lindsey Manufacturing Co., 2018), (Genin & Garcés, S.L, 2019).

En primer lugar, los sensores y dispositivos de monitorización miden y transmiten a tiempo real los siguientes valores: temperatura ambiente, velocidad del viento y su dirección, radiación solar, temperatura del conductor y deflexión. Una vez transmitidos los datos obtenidos, el software calcula la capacidad instantánea de transporte. Posteriormente, se utilizan pronosticadores temporales de corto (1h) y mediano (24-48h) plazos, para calcular la capacidad dinámica futura, que son vitales para permitir al operador la gestión óptima de la red (Grupo Editorial Editec SPA, 2016).

Irlanda del Norte es uno de los ejemplos de países en los que se ha llevado a cabo la combinación de sistemas DLR y energía eólica. Se trata de una línea denominada como "Dungannon Omagh", en la que se aplicaron los sistemas DLR en el año 2008. Conecta la parte oeste del país, en la que la producción de energía eólica es muy alta, y la parte este, en la que la demanda de energía es muy alta (Black, Connor, & Colandairaj, Planning network reinforcements with Dynamic Line Ratings for overhead transmission lines, 2010), (Black, Connor, Colandairaj, & O'Sullivan, 2010), (McClean; Bryans; Colandairaj; Fox; O'Sullivan, 2008), (Michiorri, y otros, 2015).

Los beneficios que ofrecen los sistemas DLR son los siguientes (Matorras, 2017) , (Alvarez, 2017) , (Teng, y otros, 2017):

- Incremento en la eficiencia del sistema de transporte
- Minimizar costes de posible congestión del sistema

- Minimizar la emisión de gases de efecto invernadero, facilitando la integración de energías renovables
- Mayor conocimiento del sistema de transporte

Los sensores de monitorización utilizados para el estudio son los siguientes:

- Sensor “Progress” para la temperatura ambiente y radiación solar (Ficha técnica ANEXO III)
- Sensor “Herter” para la temperatura ambiente y radiación solar (Ficha técnica ANEXO III)
- Sensor “Windsonic” para la velocidad y dirección del viento

1.5.3 Conductores de altas prestaciones térmicas

El incremento de la demanda eléctrica y la preferencia hacia la repotenciación de líneas existentes, oponiéndose a la construcción de nuevas líneas, provoca una limitación en la capacidad de transporte. Una de las opciones de repotenciación trata de sustituir los conductores tipo ACSR utilizados muy comúnmente en las últimas décadas, cuya temperatura de funcionamiento en régimen permanente no resulta muy elevada, aproximadamente 90°C. Con el fin de aumentarla, comienzan a desarrollarse nuevos tipos de conductor que alcanzan temperaturas de funcionamiento mayores en régimen permanente. Se trata de los conductores aéreos de altas prestaciones térmicas y flecha pequeña. Resultan rentables económicamente, ya que no es preciso variar servidumbres ni apoyos, y por lo tanto, el plazo de tramitación es más reducido. Dentro de los conductores de altas prestaciones térmicas se encuentran los conductores tipo GAP (GTACSR y GTTACSR) (Santos, Morentin, Mazon, & Albizu, 2008).

En el estudio en concreto se utiliza un conductor tipo GAP GTACSR-150, cuya ficha técnica se encuentra en el ANEXO I. El conductor tiene una construcción característica que combina un pequeño hueco entre el núcleo de acero y la capa de aleación de aluminio de alta resistencia térmica. Esta combinación ofrece características de conducción de corriente favorables (J-Power Systems Corp.).

Ventajas de la utilización de conductores de altas prestaciones térmicas:

La posibilidad de doblar la capacidad de conducción de corriente para el mismo tamaño de conductor, el coste bajo y el corto periodo de construcción son las principales ventajas de utilizar este tipo de cable. Por otro lado, no es necesario invertir en la aplicación de modificaciones ni refuerzos en las torres existentes.

Construcción de los conductores:

En el centro se encuentra el núcleo de acero de alta resistencia previamente mencionado y en la parte conductora, como se indica en la figura, la aleación de aluminio resistente al calor. La aleación de aluminio está compuesta por dos capas; una de alambres de sección circular (externa) y la otra de alambres de sección trapezoidal (interna). Esta última capa de sección trapezoidal permite el hueco entre el núcleo y la misma capa, que se rellena de grasa resistente al calor para que no ocurra fricción entre las dos partes. El hueco relleno de grasa resistente al calor también permite que tanto la capa de aluminio como el núcleo de acero se muevan independientemente la una de la otra.

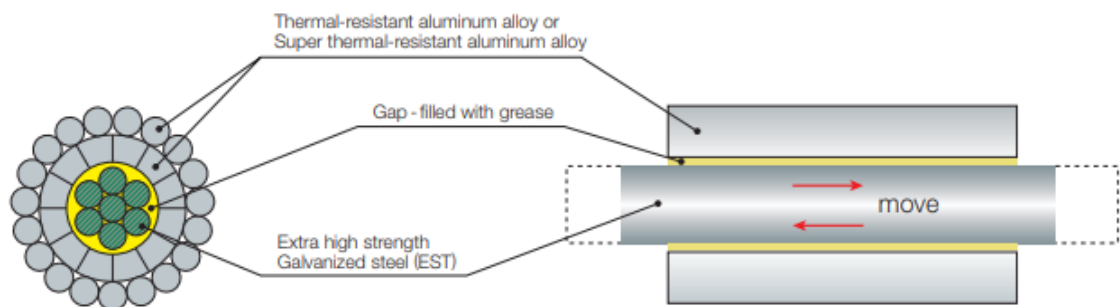


Figura 1: Construcción del conductor. Fuente: J-Power Systems Corp.

Comparación entre conductores ACSR y GTASCR:

En la Figura 2 se muestran dos comparativas entre diferentes tipos de conductores utilizados en centrales eléctricas. La primera comparativa muestra un gráfico en el que se compara la ampacidad que ofrece cada tipo de conductor, respecto del área de sección transversal. Se observa que el conductor elegido para la práctica lograra aproximadamente 1.5 veces mayor ampacidad que un conductor convencional ACSR.

Por otro lado, en la segunda comparativa se muestra un gráfico que muestra la flexión del conductor para los diferentes valores de temperatura en el conductor. También en este caso el conductor elegido para la práctica resiste valores de temperaturas mayores para el mismo valor de flexión que un conductor convencional ACSR.

En el instante de flexión del conductor la tensión se aplica totalmente en el núcleo de acero mediante un sistema especial de encordado. El coeficiente de dilatación térmica del núcleo de acero es menor que el de ACSR, cercano al valor medio ($11.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$). Ésta es la razón por la que un conductor con características como GTASCR tiene mejor comportamiento de flexión que un convencional ACSR (J-Power Systems Corp.).

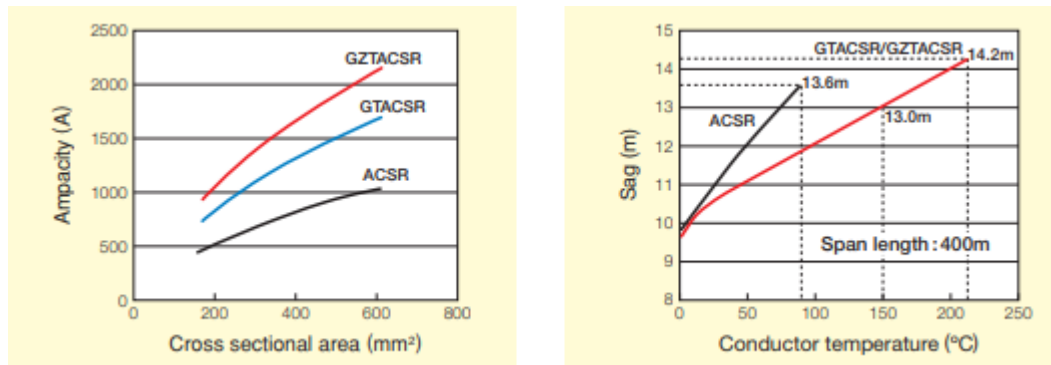


Figura 2: Comparación de ampacidad y flexión entre conductores. Fuente: J-Power Systems Corp.

1.5.4 CIGRE: Procedimiento matemático para el cálculo de ampacidad

El incremento constante de la demanda de energía eléctrica en la mayoría de países del mundo plantea el reto de optimizar las líneas de distribución y transporte, incrementando en ellas la energía transmitida. La primera medida para lograr la optimización en la transporte podría ser la construcción de nuevas líneas. Esta solución exige un coste económico elevado y genera un impacto negativo en la consideración del medio ambiente. En el caso de este estudio, la medida llevada a cabo es la utilización de un conductor *GTACSR-150* que ofrece la posibilidad de calentarse hasta los 105°C, como puede observarse en el ANEXO I.

La máxima capacidad de carga de una línea larga se obtiene mediante la consideración de la estabilidad del sistema, la permisible regulación del voltaje o el coste de las pérdidas de energía. Este estudio se basa en la central de Sakana¹, en las que se emplean líneas cortas y las consideraciones aplicadas en líneas largas no se tienen en cuenta. En el caso de una línea más corta, la máxima capacidad se determina considerando que se trabaja a la máxima temperatura alcanzable del conductor, en el caso de este estudio a 105°C.

La temperatura del conductor depende de la corriente de la línea, y a su vez, de diversos factores meteorológicos, como el sol y el viento. La ecuación que recoge todos estos factores y en la que se basa el método CIGRE es la ecuación de balance de calor (Working Group 22.12, 2002).

1.6 ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

El estudio pretende realizar el análisis de ampacidad de la línea de distribución Sakana1 de 30 kV, partiendo de los datos obtenidos minuto a minuto durante aproximadamente 5 años, lo que implica una cantidad muy elevada. Debido a la complejidad en la utilización de un número tan alto, y la del procedimiento a llevar a cabo para el cálculo de ampacidad, se decide utilizar un software de programación para facilitar el proceso.

Existen diferentes alternativas entre los software de programación, pero, en el estudio únicamente se barajan dos; Matlab y R.

Por un lado, el software Matlab ofrece infinidad de aplicaciones y herramientas para la ejecución del proceso. Como todo software de programación, requiere de un estudio previo, ya que, pese a que exista un conocimiento acerca de algún otro, todos ofrecen sus particularidades (The MathWorks, Inc., 2019).

Los gráficos son una de las herramientas necesarias para el estudio, ya que se pretenden llevar a cabo diferentes comparaciones de resultados obtenidos, y ésta permitiría una visualización y comprensión mejores. El software Matlab ofrece diversas opciones para graficar datos, incluyendo las posibilidades de edición, ampliación, etc, para un análisis de resultados más profundo.

La información acerca del software se encuentra fácilmente, y la velocidad de ejecución de sentencias resulta interesante, ya que procedimientos de cálculo utilizando bases de datos amplias pueden llevarse a cabo en un tiempo razonable.

Analizados los beneficios que podría ofrecer el software Matlab para el estudio, también se observan diversos inconvenientes, el mayor de ellos, la licencia. Matlab es un software con un precio de licencia elevado, concretamente 1319.84 €, y no se ofrece plataforma gratuita para su posible uso.

Existe una plataforma gratuita llamada Octave que se asemeja al software Matlab, con pequeñas diferencias. Las más importantes de ellas resultan tener relación con la velocidad en la ejecución de sentencias, siendo éstas más lentas, y con la calidad de gráficos a realizar. No existe posibilidad de un análisis profundo, visual y de mayor comprensión mediante la plataforma (John W. Eaton, 2019).

Por otro lado, se baraja la posibilidad de un software llamado R, cuya obtención completa es gratuita. Las aplicaciones y herramientas que ofrece también resultan interesantes para el estudio, ya que podrían ser muy útiles para alcanzar el objetivo.

Existen similitudes con otros software de programación, por lo que, de tener un conocimiento previo acerca de alguno de ellos, su uso podría resultar sencillo. El lenguaje es lo que lo diferencia, porque, pese a la semejanza con otros software, varía de forma notable (The R Foundation, 2019).

Dentro de las posibilidades que ofrece, se encuentra la de trabajar en una extensión llamada Rstudio, mediante la cual pueden cumplirse con mayor calidad los objetivos del estudio, como la profundidad en el análisis y la comparación de resultados. La descarga de la extensión es también gratuita (RStudio, 2018).

El único inconveniente que ofrece es que hay poca información en la red, complicando en cierta medida la comprensión y familiarización con el software. De esta forma, los usuarios que hacen uso de él son menores, y por lo tanto, las experiencias también.

1.7 SELECCIÓN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA

Estudiados los beneficios e inconvenientes que ofrece cada software de programación, se selecciona R y su extensión Rstudio como solución entre las opciones barajadas.

La oferta gratuita de utilización de las herramientas y aplicaciones al completo ha declinado la balanza definitivamente. La versión gratuita similar al Matlab no cumple los requisitos necesarios para alcanzar el objetivo que se desea en el estudio, ya que se pierde una calidad notable respecto de la versión original.

Además, no se aprecia gran diferencia entre la velocidad de ejecución de sentencias de los software. Ambos disponen de recursos para que el tiempo no resulte ser un problema.

Se han considerado el precio y velocidad de programación como las razones más importantes a ser estudiadas para la elección, y, dado que los recursos en cuanto a calidad de análisis son superiores, y, el precio es gratuito se decide optar por R y su extensión Rstudio.

2 METODOLOGÍA SEGUIDA EN EL DESARROLLO DEL TRABAJO

2.1 PROCEDIMIENTOS

El principal objetivo del proyecto consiste en el cálculo de la máxima corriente que puede circular por la línea. Se dispone inicialmente de diferentes bases de datos obtenidos en la línea de distribución de Sakana1, que ofrecen datos meteorológicos entre los años 2012 y 2018. Todos ellos obtenidos mediante sensores de monitorización colocados en la línea.

Los datos obtenidos por los sensores se dividen en diferentes ficheros pertenecientes al software Matlab, de forma que se facilita la posibilidad de trabajar con ellos independientemente. Se componen de matrices en las que se relaciona el dato meteorológico y el tiempo de su obtención.

Los ficheros de datos obtenidos se clasifican en primer lugar dependiendo del análisis meteorológico que realizan, y en segundo lugar, dependiendo del tipo de sensor utilizado:

Tipo de análisis	Ficheros de base
Análisis de temperatura ambiente	ANEXO II: (1) y (2) para sensores “Progress” y (3) para sensores “Herter”
Análisis de radiación solar	ANEXO II: (4) y (5) para sensores “Progress” y (6) para sensores “Herter”
Análisis de velocidad y dirección del viento ángulo de impacto del viento al conductor	ANEXO II: (7) y (8) para sensores “Windsonic”

Se divide el análisis del comportamiento meteorológico en dos partes.

En la primera parte, se utilizan los datos obtenidos en los documentos (1), (4) y (7) del ANEXO II, en los que únicamente se recogen datos obtenidos mediante sensores tipo “Progress”. Este análisis corresponde a un periodo de tiempo desde Octubre del 2012 hasta Julio del 2015.

En la segunda, se utilizan los datos obtenidos en los documentos (2), (3), (5), (6) y (8) del ANEXO II, en los que se recogen datos obtenidos mediante sensores tipo “Progress” y “Herter”. Este análisis corresponde a un periodo de tiempo desde Septiembre del 2015 hasta Enero del 2018.

Una vez clasificados todos los datos necesarios para el cálculo de la ampacidad, se comienza a trabajar mediante R, software de programación que facilitará el trabajo del cálculo

de ésta. El procedimiento se repite para las dos partes del análisis, se lleva a cabo la misma metodología para los datos obtenidos entre 2012 y 2015, que para los obtenidos entre 2015 y 2018.

2.1.1. Programa R paso por paso:

La descarga del software R se puede efectuar de forma directa en la red. Al descargar el paquete disponible, se proporcionan al equipo las opciones de trabajar en 32 bits y 64 bits, dependiendo de las características propias de cada equipo. Ambas plataformas trabajan por igual. Ofrecen la posibilidad de trabajar en una consola, mediante la ayuda de un editor en el que pueden programarse scripts y funciones que posteriormente pueden ser utilizadas en la consola (The R Foundation, 2019).

En principio, ambas plataformas podrían ser útiles para la programación del cálculo de ampacidad máxima que se desea trabajar en este estudio. Pero se opta por trabajar con una extensión del software llamada Rstudio, y que podrá obtenerse mediante descarga directa también (RStudio, 2018).

Anteriormente se menciona que en el estudio se parte con matrices de datos en formato Matlab y la compatibilidad de las plataformas de 32 y 64 bits con ese tipo de documentos ofrece mayores complicaciones que con la extensión Rstudio. Ésta ha sido la razón que ha impulsado que en este estudio se trabaje en dicha plataforma.

Se observa que el portal de la Figura 3 se divide en cuatro ventanas diferentes, enumeradas en la parte superior derecha de cada una para facilitar la explicación de cada una.

Ventana número 1:

Se trata del editor. Esta ventana ofrece al usuario la posibilidad de programar una serie de funciones de forma que el documento puede ser guardado para su futuro uso, y no es necesaria la compilación del programa cada vez que se añade una función. A estos archivos se les denomina *scripts*, y podrán ser utilizados posteriormente desde la consola, haciendo de esta manera un uso más eficiente del programa.

A parte de la utilización del editor para series de acciones que el usuario desea realizar, también en esta ventana se observaran los vectores y matrices obtenidos en el estudio. Al instante en el que una matriz o vector es creado, ésta podrá ser analizada en el editor, simplemente como el resultado de la acción.

Ventana número 2:

Se trata de la consola. La consola es la principal herramienta que el usuario utiliza para la realización del estudio. Para cualquier software de programación, la consola es la herramienta que permite ejecutar cualquier acción que el usuario desee. Como anteriormente se menciona, los *scripts* únicamente guardan acciones o series de ellas, sin ejecutarlas en ningún caso. En este estudio la consola se utiliza para ejecutar las acciones recopiladas en diferentes *scripts* para alcanzar el objetivo final de calcular la ampacidad.

También ofrece la posibilidad de indagar y ser utilizada a modo de borrador, probando la eficiencia de las diferentes acciones que se realizan para alcanzar el objetivo.

Toda la información trabajada se guarda automáticamente en un diario en la ventana 3, que será explicado posteriormente.

Ventana número 3:

La ventana número 3 ofrece diferentes posibilidades al usuario. Se observa que existen tres opciones diferentes dentro de ella; "Environment", "History" y "Connections". La opción "Environment" guarda automáticamente en el software cada elemento que se crea, ya sea un vector o una matriz. De esta manera se puede observar si se alcanza el objetivo deseado en cada paso. Al crear una matriz, por ejemplo, se posibilita al usuario a verla en el editor, como anteriormente se explica, y valorar si se ha obtenido el resultado deseado. La opción "History" guarda automáticamente cada acción empleada en la consola, no hay necesidad de pedírselo, el programa lo hace automáticamente desde la primera hasta la última acción. Por último, la opción "Connections" posibilita al usuario de emplear conexiones con otro tipo de programas, con el objetivo de importar datos.

Ventana número 4:

La última ventana ofrece 5 opciones diferentes al usuario; "Files", "Plots", "Packages", "Help" y "Viewer". La primera, "Files", se utiliza como buscador de archivos, desde donde pueden ser abiertos los diferentes archivos compatibles. La opción de "Plots" se utiliza para trabajar con los gráficos creados a lo largo del estudio. Aquí podrán ser evaluados de manera que el usuario puede decidir si son útiles. También podrán ser guardados. La opción más importante es la de "Packages". El usuario puede buscar y descargar todo tipo de paquetes que sean compatibles con la versión obtenida del software. Para emplear cualquier tipo de acción en la consola, es necesario que el programa tenga conocimiento de ella. Los paquetes permiten ejecutar acciones diferentes al usuario, de forma que si no son descargados, las acciones no pueden ser ejecutadas. A lo largo del estudio se utiliza el buscador para descargar paquetes necesarios para el desarrollo del programa. La opción "Help" permite consultar todo

tipo de información acerca de los comandos, paquetes y funciones disponibles del software, ayudando al usuario a la utilización de ellos. La última opción disponible es la de “Viewer” que no se utiliza en el estudio.

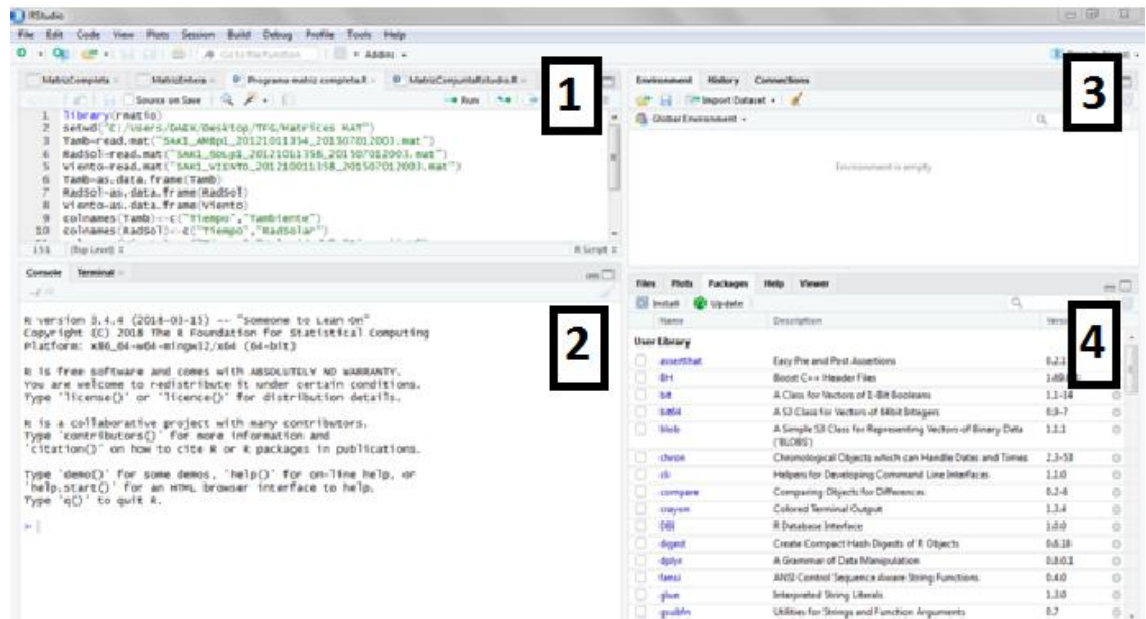


Figura 3: Panel principal plataforma Rstudio. Fuente: Elaboración propia

2.1.1.1 Construcción de la matriz conjunta

Se emplean 3 sensores que trabajan de forma independiente, de modo que si uno de ellos sufre algún tipo de avería, o su puesta en marcha es más tardía, el resto no se verá afectado. La recopilación de datos meteorológicos se efectúa minuto a minuto, de modo que los tiempos de trabajo de cada sensor no son coincidentes. Para alcanzar el objetivo de calcular la máxima corriente en línea, es necesario precisar de los datos completos y existen valores en el tiempo en los que los sensores fallan y originan saltos en el tiempo. La independencia en la forma de trabajar de los sensores, ofrece al usuario situaciones en las que para el mismo valor del tiempo, alguno o algunos de los sensores funciona y otro u otros no.

El objetivo de la matriz conjunta es recopilar todos los datos útiles y purgar aquellos en los que existe algún error.

Cuando uno de los sensores falla, existe un salto en el tiempo en la matriz, de forma que no existe ningún hueco ni espacio sin dato adjunto. Así se facilita al sistema para realizar la conexión entre matrices de datos.

La extensión Rstudio permite al usuario realizar una conexión entre las diferentes matrices, realizando una comparación entre valores del tiempo, y guardando únicamente los

datos adjuntos a los valores de tiempo coincidentes. El desarrollo de la construcción de la matriz conjunta se efectúa de la siguiente forma, siguiendo los pasos de la Figura 4.

Antes de comenzar a programar el script, el usuario debe descargar los paquetes *rmatio* y *dplyr* que son utilizados para finalidades diferentes (The R Foundation, 2019), (The R Foundation, 2019).

La descarga del paquete *rmatio* permite realizar una conexión directa entre el software R y Matlab. El paquete se puede encontrar en la ventana de búsqueda de paquetes anteriormente explicada y desde ahí realizar una descarga directa. De esta forma se facilita la importación y exportación directa de datos entre los programas. Es cierto que tanto en la importación y exportación de datos la compatibilidad no es del 100% y el programa abre una ventana emergente cada vez que se ejecuta alguna de estas acciones. Para la realización de este estudio no existe problema y la importación de datos se efectúa al completo. Una vez finalizada la descarga y si se precisa de su uso, el usuario debe abrir el paquete utilizando la secuencia `"library()"` e indicando el nombre del paquete que desea abrir.

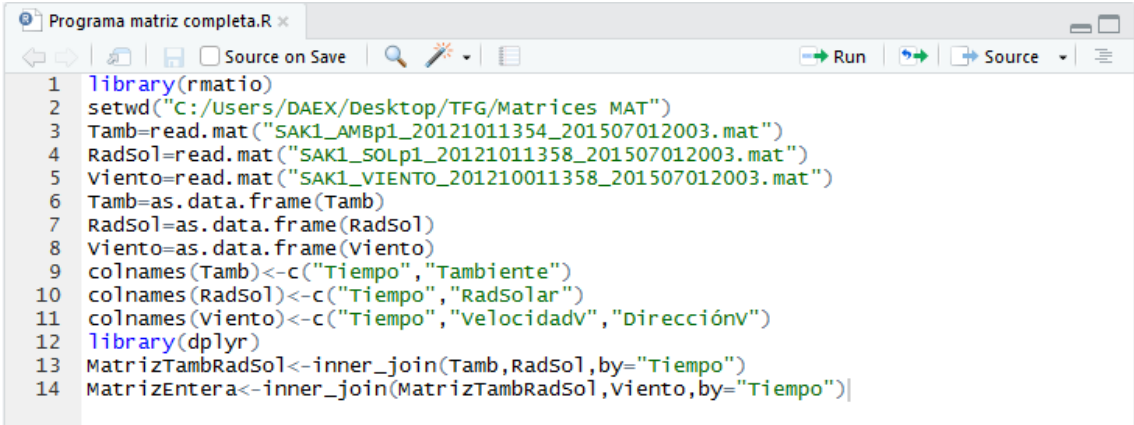
El siguiente paso trata de ubicar al equipo en la carpeta en la que se encuentran los archivos en formato Matlab, para posteriormente importar los archivos desde ahí. Puede hacerse de dos formas diferentes: en la primera, se abre la ventana `"Session"` de la barra de herramientas principal, se elige `"Set Working Directory"` y después se opta por la opción `"Choose Directory"`. Siguiendo estos pasos se abre una ventana en la que el usuario decide la carpeta en la que desea ubicar al equipo para la futura importación de datos. La segunda opción es la que se efectúa en este estudio y trata de seguir los pasos anteriores con una única función en el script.

El equipo se prepara para importar los datos desde una carpeta llamada `"Matrices Mat"` que está compuesta por diferentes matrices de datos recogidos por los sensores. Las matrices de datos pertenecientes a los sensores de temperatura ambiente ((1),(2),(3) del ANEXO II), radiación solar ((4),(5),(6) del ANEXO II) y velocidad y dirección del viento ((7),(8) del ANEXO II) son las necesarias para los posteriores cálculos. Para la importación de cada una, el programa precisa de una única secuencia cuyo objetivo es la lectura de los datos. La secuencia `"read.mat()"` obtenida en el paquete `"rmatio"` permite al usuario importar los datos directamente en forma de lista. En la imagen se observa que la secuencia únicamente necesita el nombre completo del archivo para la importación.

Los datos importados como listas ofrecen mayores dificultades y, por lo tanto, se opta por convertirlos en bases de datos mediante la secuencia `"as.data.frame()"`. Llegados a este punto, el usuario tiene los datos al completo y guardados como variables a su gusto, que en el caso de este estudio se utilizan `"Tamb"`, `"RadSol"` y `"Viento"`.

El siguiente paso, trata de asignar un nombre a las columnas de cada matriz, para poder trabajar con ellas al completo. La sentencia `colnames()<-c()` permite al usuario crear un vector de nombres utilizando el comando `c()` que en este caso utiliza los nombres `"Tiempo"` y `"Tambiente"` para asignarlos a las columnas de la base de datos guardada como `"Tamb"`. Se procede de la misma forma con el resto de bases de datos, coincidiendo todas en el nombre de la primera columna, en este caso `"Tiempo"`.

La descarga del paquete `"dplyr"` anteriormente mencionada permite al usuario utilizar secuencias diferentes para estudiar las correlaciones entre diferentes bases de datos, en este caso en forma de matriz. Tras la descarga, es necesario abrir el paquete siguiendo el mismo procedimiento anteriormente mencionado. Existe una secuencia dentro del paquete que guarda los datos completos coincidentes en el tiempo y efectúa una purga en el caso de que alguno de los sensores falle. La sentencia se llama `"inner_join()"` y permite al usuario comparar dos bases de datos, en este caso dos matrices, e indicar en que columna deben ser coincidentes. El resultado de esta acción devuelve una base de datos en forma de matriz que contiene únicamente los datos completos coincidentes en los valores del tiempo entre dos matrices. Se estudia primero la correlación entre los datos pertenecientes a los sensores de temperatura ambiente y radiación solar. La base de datos resultante de la ejecución puede ser asignada con un nombre a elegir por el usuario, en el caso de este estudio `"MatrizTambRadSol"`, y posteriormente ser comparada con la base de datos perteneciente al sensor del viento. De esta forma el programa devuelve la matriz conjunta que recoge los datos al completo y con la purga ya realizada (Grolemund, 2016).



```

1 library(rmatio)
2 setwd("C:/Users/DAEX/Desktop/TFG/Matrices MAT")
3 Tamb=read.mat("SAK1_AMBp1_20121011354_201507012003.mat")
4 RadSol=read.mat("SAK1_SOLp1_20121011358_201507012003.mat")
5 Viento=read.mat("SAK1_VIENTO_201210011358_201507012003.mat")
6 Tamb=as.data.frame(Tamb)
7 RadSol=as.data.frame(RadSol)
8 Viento=as.data.frame(Viento)
9 colnames(Tamb)<-c("Tiempo","Tambiente")
10 colnames(RadSol)<-c("Tiempo","RadSolar")
11 colnames(Viento)<-c("Tiempo","VelocidadV","DirecciónV")
12 library(dplyr)
13 MatrizTambRadSol<-inner_join(Tamb,RadSol,by="Tiempo")
14 MatrizEntera<-inner_join(MatrizTambRadSol,Viento,by="Tiempo")

```

Figura 4: Programa construcción de matriz conjunta. Fuente: Elaboración propia

La Figura 5 muestra como la serie de secuencias se ejecuta en la consola de ventana número 2. Las matrices resultantes se agrupan en la ventana número 3, indicando al usuario el número de filas y columnas que las componen. Pinchando en cualquiera de ellas se observa el resultado en la ventana número 1, en este caso la matriz que se analiza es la matriz conjunta, que se compone de 5 columnas que indican los datos obtenidos mediante los tres sensores.

The screenshot displays the RStudio environment. The main window shows a data frame with 12 rows and 5 columns. The columns are labeled 'Tiempo', 'Tambiente', 'RadSolar', 'VelocidadV', and 'DirecciónV'. The console window shows the R code used to load and process the data.

	Tiempo	Tambiente	RadSolar	VelocidadV	DirecciónV
1	735143.6	17.062	827.837	2.726	82.225
2	735143.6	16.924	844.450	1.887	104.819
3	735143.6	17.699	840.143	3.105	164.516
4	735143.6	18.004	845.681	1.831	166.731
5	735143.6	18.281	816.761	2.108	166.510
6	735143.6	17.727	819.838	2.929	184.563
7	735143.6	17.782	825.375	3.409	146.574
8	735143.6	17.505	831.528	2.127	146.352
9	735143.6	17.644	816.761	2.062	167.507
10	735143.6	17.671	756.461	1.139	143.584
11	735143.6	17.478	809.377	2.643	170.276
12	735143.6	17.755	821.068	2.874	192.427

```

> library(rmatio)
> setwd("C:/Users/DAEX/Desktop/TFG/Matrices MAT")
> Tamb=read.mat("SAK1_AMBp1_20121011354_201507012003.mat")
> RadSol=read.mat("SAK1_SOLp1_20121011358_201507012003.mat")
> Viento=read.mat("SAK1_VIENTO_201210011358_201507012003.mat")
> Tamb=as.data.frame(Tamb)
> RadSol=as.data.frame(RadSol)
> Viento=as.data.frame(Viento)
> colnames(Tamb)<-c("Tiempo", "Tambiente")
> colnames(RadSol)<-c("Tiempo", "RadSolar")
> colnames(Viento)<-c("Tiempo", "VelocidadV", "DirecciónV")
> library(dplyr)
Attaching package: 'dplyr'

```

Figura 5: Panel principal plataforma Rstudio para visualización de matriz conjunta. Fuente: Elaboración propia

2.1.1.2 Corrección en la dirección del viento

Una vez construida la matriz conjunta se decide en el estudio utilizar la extensión Rstudio del software R para realizar una corrección en relación a los datos obtenidos por el sensor de velocidad y dirección del viento. De esta manera se facilita el posterior cálculo de la máxima capacidad de corriente en línea.

La corrección se lleva a cabo en la columna que determina la dirección del viento, es decir, el ángulo de impacto entre viento y conductor. Existe un offset entre la dirección del viento marcada por el sensor y el norte geográfico. El impacto del viento en la línea se debe analizar con el punto de referencia N-S en la dirección de la propia línea. A su vez se hace difícil la comparación entre distintos puntos de la línea conociendo la velocidad y dirección de viento que incide en ésta y para ello, se debe llevar a cabo una normalización de los datos.

En Sakana1, la línea sigue una dirección de 56° respecto al norte geográfico, y la dirección del anemómetro está a -8° de la línea. Por lo tanto, la diferencia entre el norte geográfico y la dirección del anemómetro es de 48° en sentido horario.

Se decide crear un offset que se resta a todos los datos de la columna correspondiente a la dirección del viento, y se realiza próximamente una corrección para los casos en los que el ángulo sea negativo ($<0^{\circ}$) o mayor que 360° . En el caso de ser un ángulo negativo, se suman 360° a dicho ángulo. En el caso de ser superior a 360° , se restan 360° a dicho ángulo. Dado que el offset se aplica en forma de resta, resulta prácticamente imposible la existencia de valores mayores a 360° pero se decide aplicar el cambio para evitar posibles errores originados en la obtención de datos y en su posterior análisis.

Una vez introducido el offset, se procede a adecuar el ángulo obtenido para facilitar cálculos. Se opta por convertir todos los datos de dirección del viento a un intervalo de 0° a 90° . Es decir, se presupone que la influencia del viento va a ser similar cuando incida con un ángulo de 30° , 150° , 210° y 330° . Jugando con restas y valores absolutos se consiguen los ángulos deseados. El proceso de conversión se realiza de forma diferente dependiendo del intervalo en el que se encuentra cada dato:

- Si el ángulo se encuentra entre 0° y 90° , se mantiene.
- Si el ángulo se encuentra entre 90° y 180° , se restan 180° y se calcula el valor absoluto.
- Si el ángulo se encuentra entre 180° y 270° , se restan 180° .
- Si el ángulo se encuentra entre 270° y 360° , se restan 360° y se calcula el valor absoluto.

La corrección se realiza en la extensión Rstudio del software R de la forma en la que se muestra en la Figura6.

Se crea un script con un nombre a elección del usuario para realizar un conjunto de secuencias que posteriormente se pueda ejecutar en la consola.

En el anterior paso se ha construido una matriz conjunta que recoge todos los datos meteorológicos a la que se le ha asignado el nombre de "*MatrizEntera*". Para trabajar con ella y construir posteriormente una matriz con la corrección aplicada, es necesario conocer su tamaño concretamente. Se crea en primer lugar una variable llamada "*lagA*" a la que se le asigna el valor resultante de la secuencia "*dim()*" aplicada a la matriz conjunta construida, que devuelve al usuario un vector de dos valores. El primero de ellos es el número total de filas de la matriz, y el segundo, el número total de columnas. Posteriormente el usuario precisa únicamente del valor total de filas, de modo que se crea una nueva variable llamada "*nA*" a la que se le asigna el primer valor del vector creado en el anterior paso.

Para facilitar la construcción de la matriz con la corrección aplicada, se decide realizar una copia de la matriz conjunta e ir corrigiendo uno por uno los datos obtenidos de la dirección del tiempo. Se ahorra de esta manera, la construcción paso a paso de las columnas restantes.

El siguiente paso trata de un proceso iterativo para el que se utiliza el comando “for()”. El número de iteraciones a ejecutar coincide con el número total de filas obtenido anteriormente y denominado como “nA”.

En el proceso iterativo se crea una variable llamada “Ang” a la que inicialmente se le asigna el valor del ángulo de dirección del tiempo. El primer paso para la corrección del mismo es la aplicación del offset de 48° en forma de resta. Esta aplicación podría resultar en algún caso en la modificación de un ángulo negativo, que podría ser problemático en cálculos posteriores. Para ello, mediante la secuencia “if()” se aplican las condiciones de corrección anteriormente explicadas para los casos en los que el ángulo es negativo y mayor a 360°.

Una vez aplicado el offset y zanjado un intervalo de 0° a 360°, se procede a la conversión del ángulo de dirección del viento a un valor correspondiente al intervalo de datos entre 0° y 90°. Las 4 condiciones teóricas citadas previamente se llevan a cabo mediante 4 secuencias “if()”, en las que se aplica la corrección del ángulo y se asigna ese nuevo valor a una nueva variable llamada “Angzuzendua”. Para asegurar que el nuevo valor asignado se encuentra dentro del intervalo, es preciso aplicar un valor absoluto, para asegurar que no se comete ningún error que pudiera ser problemático posteriormente.

Por último, el valor del ángulo corregido denominado como “Angzuzendua” se asigna en cada iteración del proceso al valor de la columna de datos correspondiente a la dirección del viento, completando así la matriz con la corrección aplicada que se guarda en el sistema con el nombre de “MatrizEnteraCorregida”.

```

1 lagA=dim(MatrizEntera)
2 nA=lagA[1]
3 MatrizEnteraCorregida=MatrizEntera[1:nA,1:5]
4
5
6 for (i in 1:nA){
7   Ang=MatrizEntera[i,5]
8   offset=48
9   Ang=Ang-offset
10  if (Ang>=360){
11    Ang=Ang-360}
12  if (Ang<0){
13    Ang=Ang+360}
14  if (0<Ang & Ang<=90){
15    Angzuzendua=Ang}
16  if (90<Ang & Ang<=180){
17    Angzuzendua=abs(Ang-180)}
18  if (180<Ang & Ang<=270){
19    Angzuzendua=Ang-180}
20  if (270<Ang & Ang<=360){
21    Angzuzendua=abs(Ang-360)}
22
23  Angzuzendua=abs(Angzuzendua)
24  MatrizEnteraCorregida[i,5]=Angzuzendua
25 }

```

Figura 6: Programa corrección de la dirección del viento en matriz conjunta. Fuente: Elaboración propia.

2.1.1.3 Cálculo de ampacidad

El cálculo de máxima ampacidad mediante CIGRE puede realizarse de diferente manera, teniendo en cuenta el estado en el que se considera el conductor. Un conductor puede encontrarse en estado estable o semi-estable, inestable o adiabático.

Un estado estable o semi-estable es aquel en el que las ganancias de calor se igualan a las pérdidas, de manera que no se tiene en cuenta el calor almacenado en el conductor.

$$\text{Ganancias de calor} = \text{Pérdidas de calor} [1]$$

En el cálculo de un conductor en estado inestable se considera que el conductor no se encuentra en equilibrio térmico y se tiene en cuenta el calor almacenado.

$$\text{Calor almacenado en el conductor} = \text{Ganancias de calor} - \text{Pérdidas de calor} [2]$$

Por último, para el cálculo de conductores que se encuentran bajo condiciones de cortocircuito, se considera que no se realiza ningún tipo de refrigeración.

$$\text{Calor almacenado en el conductor} = \text{Ganancias de calor} [3]$$

Para la realización del cálculo de máxima ampacidad en este estudio, se considera el conductor en estado estable o semi-estable, de manera que solo se trabaja con ganancias y pérdidas de calor.

Los parámetros meteorológicos con los que se trabaja en este estudio son; la temperatura ambiente, la radiación solar, la velocidad y la dirección del viento.

Considerando el equilibrio térmico explicado anteriormente, se completa la ecuación [1] de la siguiente forma:

$$P_{gen} = P_{dis}$$

$$P_J + P_M + P_S + P_i = P_c + P_r + P_w [4]$$

P_J = Ganancias de Joule

P_M = Ganancias magnéticas

P_S = Ganancias solares

P_i = Ganancias corona

P_c = Pérdidas por convección

P_r = Pérdidas por radiación

P_w = Pérdidas por evaporación

Se consideran despreciables los efectos de las ganancias por corona y pérdidas por evaporación. Las ganancias corona solo se consideran significantes cuando existen gradientes de voltaje de superficies grandes y vientos fuertes que llevan a valores de pérdidas de calor por convección y evaporación altos. En el caso de este estudio, se considera innecesario el efecto, puesto que se trabaja para lograr la máxima corriente de línea y se consideran condiciones ambientales en estado estable. Por otro lado, las pérdidas de calor por evaporación no se tienen en cuenta porque el vapor de agua presente en el aire o las gotas de agua que se pueden encontrar en el flujo cercano al conductor no alteran significativamente el comportamiento. Generalmente se ignora, excepto en situaciones en las que el conductor se encuentra completamente húmedo.

Por otro lado, el conductor sufre un calentamiento adicional originado por el flujo magnético creado por la corriente alterna que recorre el conductor, a consecuencia de las corrientes que se inducen en él. Sería insignificante este calentamiento, si se utilizara un conductor no ferroso en la práctica, pero en el caso de este estudio el conductor de núcleo de acero utilizado sufre las consecuencias de dicho flujo magnético.

Considerando el efecto pelicular y un conductor cableado para la práctica, el efecto magnético se añade en la ecuación de ganancias de calor por efecto Joule, que se analizará posteriormente.

$$P_J = P_j + P_M \quad [5]$$

De este modo, la ecuación [4] se reduce a la siguiente:

$$P_J + P_S = P_c + P_r \quad [6]$$

El principal objetivo del método Cigre es la obtención de la ampacidad máxima, la máxima corriente en línea. Para ello, se procederá al cálculo de cada elemento de la ecuación, dejando para el final el cálculo de las ganancias por Joule.

2.1.1.3.1 Ganancias de calor por radiación solar (P_S)

Procedimiento teórico

Para el cálculo teórico de las ganancias de calor por radiación solar podrían ser necesarias tanto la radiación directa como la difusa. En la práctica, ambas resultan problemáticas. Los metros de radiación solar directa son muy caros, y por otro lado, los metros de radiación difusa precisan de una atención constante. Por estas razones, en este proyecto se

decide trabajar en la práctica con metros de radiación solar global, cuyo precio es más barato y proporciona mayor fiabilidad.

Las ganancias de calor por radiación se calculan teóricamente de la siguiente forma:

$$P_s = \alpha_s * S * D \text{ [7]}$$

α_s = absorción de superficie del conductor

S = Radiación solar global

D = Diámetro externo del conductor

La radiación solar global en Sakana1 se obtiene mediante dispositivos de monitorización tipo Progress y Herter, que permiten conocer el valor de ésta en cada instante. En este proyecto, los datos se recogen minuto a minuto, por lo que la expresión [7] debe ser aplicada en cada instante.

Los datos técnicos del conductor utilizado en la central de Sakana1 necesarios para el cálculo de las ganancias de calor por radiación solar, se obtienen del ANEXO I, donde puede observarse el valor de 15,79 mm para el diámetro externo del conductor (D).

Por otro lado, la absorción de la superficie del conductor (α_s) no aparece en la ficha técnica, pero se conoce el rango en el que oscila [0.23, 0.9]. Se asume en todo el procedimiento un valor estimado de 0.5, con el objetivo de variar mínimamente el resultado final.

Procedimiento en software R

Una vez desarrollado el proceso teórico, que en este caso únicamente precisa de una sola ecuación, el cálculo mediante software R se desarrolla como en la Figura7.

En primer lugar, se asignan los valores “D” y “absor” con sus respectivos valores numéricos anteriormente explicados, siendo “D” el diámetro externo del conductor, y “absor” la absorción de la superficie del conductor.

Una vez fijados los valores que no varían en el proceso de cálculo de las ganancias por radiación solar, se utiliza la matriz conjunta anteriormente construida para trabajar con los datos de radiación solar en cada instante.

El siguiente paso consiste en la creación de dos variables que permiten conocer el tamaño de la matriz que se desea utilizar en este proceso. Anteriormente se explica la utilización de estas dos variables, proceso que se repite a menudo a lo largo del estudio. Se denomina “lagMat” al vector resultante de una sentencia “dim()” que se compone únicamente

de dos valores que reflejan el número de filas y columnas de la matriz. Posteriormente, se crea una segunda variable llamada “totalMat” en la que se asigna únicamente el número de filas que tiene la matriz, en este caso es el primer valor de los que componen la variable anteriormente descrita. El principal objetivo de este proceso de creación de variables es el de determinar el tamaño de la matriz con la que se trabaja, para posteriormente construir una nueva matriz que determine los valores de ganancias de calor por radiación solar en cada instante.

En el próximo paso se observa una sentencia que se repite a menudo en el proceso de cálculo de máxima corriente en línea. Se trata de una sentencia denominada “rbind()” que ofrece la posibilidad de crear una matriz fila por fila (la “r” inicial de la secuencia hace referencia a la palabra “row” del inglés que significa fila). En este primer paso de creación de una matriz que recoja los valores de ganancia de calor por radiación en cada instante, se crea una variable llamada “Ps” a la que se le asigna el valor de una matriz vacía. Una particularidad del software R es que no permite la construcción de una matriz sin haber sido creada anteriormente, a pesar de que tras la creación no esté compuesta por datos. Para ello, no se añade ninguna información en la secuencia “rbind()”.

Por último, se aplica un proceso iterativo mediante el comando “for()” que se repite tantas veces como el número de filas obtenido anteriormente. Se decide en este proyecto construir de esta manera una matriz de una sola columna que ofrece la ganancia de calor por radiación solar en cada instante, y se lleva a cabo de la siguiente forma:

```

1 D=15.79*10^-3
2 absor=0.5
3 lagMat=dim(MatrizEntera)
4 totalMat=lagMat[1]
5 Ps=rbind()
6 for (i in 1:totalMat){
7   Ps=rbind(Ps,absor*D*MatrizEntera[i,3])
8 }

```

Figura 7: Programa cálculo de ganancias por radiación solar. Fuente: Elaboración propia

La Figura8 muestra la última parte del script mostrado anteriormente. Este fragmento únicamente se ciñe al proceso iterativo de cálculo de ganancias de calor por radiación solar. De nuevo se utiliza el comando “rbind()” que en este caso servirá para cumplir su principal objetivo, el de construir una matriz fila a fila. Se parte con la variable predefinida “Ps” vacía y se le añade en la primera fila un valor de ganancia de calor por radiación solar calculado con la ecuación [7]. Se utilizan los valores fijos previamente asignados y los datos importados de la tercera columna de la matriz conjunta, que es la que refleja la radiación solar minuto a minuto. Se observa en la figuraX, que la secuencia “rbind” refleja dos valores separados por una “,”. Esto significa que al primero de los valores que se encuentran dentro de la secuencia se le añade el

segundo en la siguiente fila, construyendo de esta forma la matriz que se desea instante a instante, asegurando que no existe pérdida de ningún dato.

```
for (i in 1:totalMat){
Ps=rbind(Ps,absor*D*Matriz[i,3])
}
```

Figura 8: Fragmento programa cálculo de ganancias de calor por radiación solar. Fuente: Elaboración propia

2.1.1.3.2 Pérdidas de calor por radiación (P_r)

Procedimiento teórico

El efecto del enfriamiento por radiación en conductores de líneas eléctricas de alta tensión es una fracción pequeña del calor total disipado en el propio conductor. Por esta razón, se considera suficientemente preciso el siguiente cálculo de pérdidas de calor por radiación:

$$P_r = \pi * D * \varepsilon * \sigma_B * [(T_s + 273)^4 - (T_a + 273)^4] \quad [8]$$

D = Diámetro externo del conductor

ε = Emisividad

σ_B = Constante Stefan-Boltzmann ($5.670373 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$)

T_s = Temperatura superficie conductor

T_a = Temperatura ambiente

De nuevo se observa, que la geometría del conductor afecta al cálculo del enfriamiento por radiación, siendo las pérdidas de radiación solar dependientes del diámetro del conductor.

Cabe destacar el efecto de la emisividad del conductor en este apartado. La emisividad en cualquier tipo de conductor oscila entre valores de 0.23 y 0.95. En este estudio se opta por utilizar un valor de 0.5 que en la mayoría de casos es el sugerido para no variar en exceso el valor final del enfriamiento.

Los parámetros que completan la ecuación son las temperaturas de superficie del conductor (T_s) y la temperatura ambiente (T_a). Anteriormente se explica la utilización de un sistema de sensores que podría permitir la monitorización y el cálculo instantáneo de ambas. En el estudio se analiza y se utilizan los datos de temperatura ambiente obtenidos en cada instante. En cambio, para la temperatura de superficie del conductor se fija el valor máximo admisible que se observa en la ficha técnica del conductor del ANEXO I, en este caso es de 105°C.

Trabajando de esta manera, se asume que el conductor alcanza la temperatura máxima posible y se maximiza la capacidad de transporte de una línea eléctrica, optimizándola en cada instante.

Procedimiento en software R

Se ejecuta el cálculo de pérdida de calor por radiación en software R como se observa en la Figura9.

En el primer paso, se asigna un valor a los elementos que se mantienen fijos a lo largo del cálculo. La emisividad (ϵ), el diámetro externo del conductor (D) y la constante de Stefan-Boltzmann (σ_B), denominadas en el programa como “*eps*”, “*D*” y “*Boltz*” no varían en ningún caso.

De nuevo se utiliza la sentencia “*dim()*” para obtener en valores numéricos la cantidad de filas y columnas que componen la matriz conjunta construida anteriormente. Es necesario crear una variable a la que se le asigna el número de filas de la matriz conjunta, para construir posteriormente una matriz de única columna que recoja en cada instante el valor del calor perdido por radiación.

El proceso se repite en este caso para crear en primer lugar la matriz vacía denominada como “*Pr*”, y en segundo lugar, ejecutar un proceso iterativo tantas veces como filas tiene la matriz conjunta. En cada instante se obtiene el valor máximo posible de enfriamiento por radiación, puesto que se realiza el cálculo mediante la expresión [8], fijando el valor de temperatura de superficie del conductor como la temperatura máxima admisible del mismo, que en este caso se obtiene del ANEXO I y es de 105°C.

```

1 eps=0.5
2 D=15.79*10^-3
3 Boltz=5.67*10^-8
4 lagMat=dim(MatrizEnteraCorregida)
5 totalMat=lagMat[1]
6 Pr=rbind()
7 for (i in 1:totalMat){
8 Pr=rbind(Pr,pi*D*eps*Boltz*((105+273)^4 - (MatrizEnteraCorregida[i,2]+273)^4))
9 }

```

Figura 9: Programa cálculo de pérdidas de calor por radiación. Fuente: Elaboración propia

El resultado final es una matriz de una columna y tantas filas como datos recogidos por los sensores en la matriz conjunta, a la que se denomina “*Pr*”.

2.1.1.3.3 Pérdidas de calor por convección (P_c)Procedimiento teórico

El aire adyacente a la superficie del conductor sufre un calentamiento debido a la diferencia de temperaturas, que provoca un decrecimiento en la densidad del aire calentado. Sin embargo, el aire calentado se ve reemplazado por aire más frío, que provoca un enfriamiento en el conductor. El proceso se repite continuamente dando lugar a pérdidas de calor en el conductor.

Para el análisis dimensional se utilizan varios parámetros no dimensionales que facilitan el cálculo de transferencia de calor por convección. Los parámetros son los siguientes:

○ Número de Nusselt: $Nu = h_c D / \lambda_f$ [9]

h_c = coeficiente de transmisión de calor por convección (W/m^2K)

λ_f = conductividad térmica del aire (W/mK)

○ Número de Reynolds: $Re = \rho_r V D / \nu_f$ [10]

V = velocidad del viento (m/s)

ν_f = viscosidad cinemática (m^2/s)

ρ_r = densidad relativa del aire ($\rho_r = \rho / \rho_0$ donde ρ es la densidad del aire en la altitud en cuestión y ρ_0 es la densidad del aire al nivel del mar)

○ Número de Grashof $Gr = D^3 (T_s - T_a) g / (T_f + 273) \nu_f^2$ [11]

T_s = temperatura en la superficie del conductor

T_a = temperatura ambiente

○ Número de Prandtl $Pr = c \mu / \nu_f$ [12]

c = capacidad específica de calor del aire en presión constante (J/kgK)

μ = viscosidad dinámica del aire (kg/ms)

Las siguientes ecuaciones empíricas permiten el cálculo de variables necesarias para el análisis dimensional:

$$\nu_f = 1.32 \cdot 10^{-5} + 9.5 \cdot 10^{-8} T_f \quad [13]$$

$$\lambda_f = 2.42 \cdot 10^{-2} + 7.2 \cdot 10^{-5} T_f \quad [14]$$

$$Pr = 0.715 - 2.5 \cdot 10^{-4} T_f \quad [15]$$

$$g = 9.807 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

$$T_f = 0.5 \cdot (T_s + T_a) \quad [16]$$

$y = 500 \text{ (m)}$ (Se trata de la altura de Sakana1 respecto del mar)

$$\rho_r = \exp(-1.16 \cdot 10^{-4} \cdot y) \quad [17]$$

El cálculo de pérdidas de calor por convección se realiza de la siguiente forma:

$$P_c = \pi * \lambda_f * (T_s - T_a) * Nu \quad [18]$$

El procedimiento de cálculo del número de Nusselt cambia dependiendo del tipo de convección con la que se trabaja. Por un lado se realiza el análisis trabajando en convección forzada, y por otro, en convección natural.

Enfriamiento por convección forzada

Cuando se trabaja asumiendo la convección forzada, el número de Nusselt se ve representado de la siguiente forma:

$$Nu_{90} = B_1 * Re^n \quad [19]$$

Donde B_1 y n son constantes que dependen del número de Reynolds y de la rugosidad de la superficie del conductor:

$$R_f = d/[2 * (D - d)] \quad [20]$$

Como se observa en la expresión [20], la rugosidad se obtiene de una relación entre el diámetro exterior del conductor (D) y el diámetro de alambres de aluminio exteriores (d), que pueden obtenerse del ANEXO I.

El valor de las constantes B_1 y n se obtiene mediante la Tabla1, que establece las relaciones con el número de Reynolds y la rugosidad de superficie del conductor.

Superficie	Re		B_1	n
	<	>		
	10^2	$2.65 * 10^3$	0.641	0.471
$R_f \leq 0.05$	$2.65 * 10^3$	$5 * 10^4$	0.178	0.633
$R_f > 0.05$	$2.65 * 10^3$	$5 * 10^4$	0.048	0.800

Tabla 1: Constantes B_1 y n para cálculo de Nusselt forzado. Fuente: CIGRE Thermal behaviour of overhead conductors

En el análisis del número de Nusselt hasta el momento, se asume que el flujo impacta con total perpendicularidad al conductor, formando un ángulo de 90° . Pero la dirección del viento real juega un papel muy importante en la efectividad de la convección forzada. Por eso, se procede a un nuevo cálculo del número de Nusselt que depende del ángulo de impacto del viento respecto al eje del conductor, y en el que se aprovecha el valor obtenido anteriormente.

$$Nu_\delta = Nu_{90}[A_1 + B_2(\sin\delta)^{m_1}] \quad [21]$$

Las constantes A_1 , B_2 y m_1 se obtienen de la tabla 2.

δ	A_1	B_2	m_1
$0^\circ < \delta < 24^\circ$	0.42	0.68	1.08
$24^\circ < \delta < 90^\circ$	0.42	0.58	0.9

Tabla 2: constantes A_1 , B_2 y m_1 para cálculo de Nusselt forzado. Fuente: CIGRE Thermal behaviour of overhead conductors

Cuando la velocidad del viento es baja ($V < 0.5$ m/s), la dificultad de calcular con precisión el valor del ángulo de impacto del viento es mayor. Por lo tanto, se opta por realizar un nuevo cálculo de número de Nusselt para este tipo de situaciones. Se trata del número de Nusselt corregido, que toma el siguiente valor:

$$Nu_{cor} = 0.55Nu_{90} \quad [22]$$

Enfriamiento por convección natural

El cálculo del número de Nusselt en convección natural es más sencillo. Depende en este caso de los números de Grashof y Prandtl.

$$Nu = A_2(Gr * Pr)^{m_2} \quad [23]$$

Las constantes A_2 y m_2 dependen del producto de los números de Grashof y Prandtl, y se obtienen de la Tabla3.

$Gr * Pr$		A_2	m_2
<	>		
10^2	10^4	0.850	0.188
10^4	10^6	0.480	0.250

Tabla 3: Constantes A_2 y m_2 para cálculo de Nusselt natural. Fuente: CIGRE Thermal behaviour of overhead conductors

Elección del número de Nusselt

La metodología de obtención del número de Nusselt depende en gran parte de la velocidad del viento que impacta al conductor. Dependiendo del valor de la velocidad en cada instante, se opta por un procedimiento u otro. La elección de dicho número en este estudio se realiza de la siguiente forma:

- Para velocidades de viento altas ($V > 0.5$ m/s): Únicamente se tiene en cuenta el enfriamiento por convección forzada. Se utilizan las expresiones [19] y [21] para la ejecución del cálculo.
- Para velocidades de viento bajas ($V < 0.5$ m/s): En este tipo de situación, la elección es más compleja. La velocidad del viento baja dificulta la precisión de

medida del sensor, y la probabilidad de fallo es mayor. Por eso, en este caso se tienen en cuenta todos los anteriores procesos de cálculo del número de Nusselt:

- Se utilizan las expresiones [19] y [21] para el cálculo del número de Nusselt por convección forzada.
- Se utilizan las expresiones [23] para el cálculo del número de Nusselt por convección natural.
- Se utiliza la expresión [22] para el cálculo del número de Nusselt corregido.

Entre los tres valores logrados, se realiza una comparación y se escoge el mayor de ellos.

Procedimiento en software R

Debido a la complejidad del procedimiento de cálculo del enfriamiento causado por convección, se decide hacer uso de dos *scripts* para facilitar el trabajo de compilación del programa. En el primero se realizan los cálculos de las diferentes metodologías de obtención del número de Nusselt, y posteriormente la elección de ellos en cada instante. En el segundo, se calcula el enfriamiento causado por la convección.

La explicación del primer *script* se realizará por partes, debido al tamaño y cantidad de secuencias que lo componen.

La primera parte del procedimiento, mostrado en la Figura10, trata únicamente de crear por un lado elementos a los que se les asigna un valor fijo y, por otro lado, matrices vacías para su posterior construcción.

Se decide en primer lugar asignar un valor de 500 metros a la correspondiente altura de la central de Sakana1, denominada en el programa como “*y*”. Se aplica la expresión [17] para calcular la densidad relativa del aire, denominada como “*rho*”. Los elementos “*g*”, “*d*” y “*D*” son también valores fijos, que corresponden a los valores de gravedad, diámetro de alambre de aluminio colocado en la parte exterior (*d*) y diámetro exterior del conductor (*D*). Dado que estos valores no varían en ningún caso, la rugosidad puede calcularse previamente al procedimiento de cálculo del número de Nusselt, mediante la expresión [20].

Posteriormente, se ejecutan dos sentencias repetidas en anteriores procesos. Se trata de los elementos “*lagMat*” y “*totalMat*”, que permiten al usuario conocer y asignar a un elemento en valor numérico el número de filas de una matriz. En el caso de este estudio, se repite continuamente el número de filas, puesto que siempre se trabaja con la totalidad de datos coincidentes en el tiempo. Por eso, siempre se toma como referencia la matriz conjunta con la dirección del viento corregida. Cabe destacar, que una vez obtenido el valor de número de filas, podría omitirse este paso, y simplemente hacer mención de elementos creados

previamente. Se decide añadir las dos secuencias para evitar cualquier tipo de fallo y facilitar la comprensión del proceso.

El siguiente paso consiste en la creación de matrices vacías, un proceso necesario repetido en situaciones anteriores que permite la posterior construcción de nuevas matrices de datos.

```

1 y=500
2 rho=exp(-y*1.16*10^-4)
3 g=9.807
4 d=2.37*10^-3
5 D=15.79*10^-3
6 Rf=d/(2*(D-d))
7 lagMat=dim(MatrizEnteraCorregida)
8 totalMat=lagMat[1]
9 Tf=rbind()
10 Vf=rbind()
11 lamdaf=rbind()
12 Re=rbind()
13 Nu90=rbind()
14 Nuforc=rbind()
15 Gr=rbind()
16 Prandtl=rbind()
17 Nunat=rbind()
18 Nucor=rbind()
19 Nufinal=rbind()
20 Pc=rbind()

```

Figura 10: Programa cálculo de número de Nusselt parte 1. Fuente: Elaboración propia

Una vez asignados los elementos y creadas las matrices necesarias, la segunda parte del procedimiento se muestra en la Figura11, y se trata del cálculo del número de Nusselt por convección forzada.

Como en toda construcción de matrices en este estudio, se ejecuta un proceso iterativo mediante una secuencia “for()” que se repite tantas veces como elementos tiene la matriz conjunta.

En primer lugar, para las variables necesarias en el análisis dimensional, tanto con los parámetros dimensionales (v_f , T_f), como con los no dimensionales (Gr , Pr , Re), es necesario construir matrices de datos elemento por elemento. Las condiciones meteorológicas afectan al valor numérico en cada instante, y para ello se asignan en cada caso los valores correspondientes al resultante de las expresiones [10],[11],[13],[15] y [16].

Para cumplir las condiciones correspondientes a la Tabla1 explicada en el procedimiento teórico, se ejecutan 3 sentencias condicionales “if()”. De esta forma, se asignan los valores de las constantes B_1 y n , y se construye elemento por elemento la matriz correspondiente al número de Nusselt en convección forzada, que asume una perpendicularidad total respecto del conductor, denominada como “Nu90”. Cada elemento se añade utilizando la expresión [19].

La Tabla2 describe las condiciones necesarias para el cálculo del número de Nusselt dependiente de la dirección del viento. Se ejecutan dos sentencias condicionales del tipo “if()” en este caso también. El objetivo es el mismo, asignar valores a las constantes A_1 , B_2 y m_1 , para calcular el valor de Nusselt instante a instante y construir la matriz denominada como “Nuforc”. Cada elemento se añade utilizando la expresión [21].

```

22 for (i in 1:totalMat){
23
24 Tf=rbind(Tf,0.5*(105+MatrizEnteraCorregida[i,2]))
25 Vf=rbind(Vf,1.32*10^-5 + Tf[i,1]*9.5*10^-8)
26 Re=rbind(Re,(rho*MatrizEnteraCorregida[i,4]*D)/Vf[i,1])
27 Gr=rbind(Gr,(D^3*(105- MatrizEnteraCorregida[i,2])*g)/((Tf[i,1]+273)*Vf[i,1]^2))
28 Prandtl=rbind(Prandtl,0.715 - Tf[i,1]*2.5*10^-4)
29
30 if (Re[i,1]>=10^2 & Re[i,1]<2.65*10^3){
31 B1=0.641
32 n=0.471
33 }
34   if (Re[i,1]>2.65*10^3 & Re[i,1]<=10^4){
35 B1=0.178
36 n=0.633
37 }
38   if (Re[i,1]>10^4 & Re[i,1]<=10^5){
39 B1=0.048
40 n=0.8
41 }
42
43 Nu90=rbind(Nu90,B1*Re[i,1]^n)
44
45 if (MatrizEnteraCorregida[i,5]>=0 & MatrizEnteraCorregida[i,5]<24 ){
46 A1=0.42
47 B2=0.68
48 m1=1.08
49 }
50   if (MatrizEnteraCorregida[i,5]>=24 & MatrizEnteraCorregida[i,5]<=90 ){
51 A1=0.42
52 B2=0.58
53 m1=0.9
54 }
55 Nuforc=rbind(Nuforc,Nu90[i,1]*(A1+B2*(sin(MatrizEnteraCorregida[i,5]*pi/180))^m1))

```

Figura 11: Programa cálculo de número de Nusselt parte 2. Fuente: Elaboración propia

Anteriormente se explica la relación establecida entre la velocidad del viento y el proceso de elección del número de Nusselt. A la hora de utilizar el software R, es preferible procesar el cálculo de los diferentes tipos de número de Nusselt, para posteriormente aplicar las condiciones de elección.

En la Figura12 se observa, que vuelve a hacerse uso de dos sentencias condicionales del tipo “if()” para asignar los valores a las constantes A_2 y m_2 , necesarias en la obtención del número de Nusselt en convección natural. Se construye elemento por elemento una matriz denominada como “Nunat”, que recoge en cada instante el valor obtenido mediante la expresión [23]. Las condiciones aplicadas son las descritas en la Tabla3 del procedimiento teórico.

El siguiente paso únicamente consiste en la construcción de la matriz “Nucor”, que recoge en cada instante el resultado obtenido de la expresión [22].

Por último, se procede a la elección del número de Nusselt correcto. Una nueva matriz llamada “*Nufinal*” se crea para facilitar la organización y ser construida recogiendo datos de diferentes matrices. Dependiendo de la velocidad del viento que impacta al conductor, anteriormente se describe teóricamente como se decide la elección del número correcto. Dos nuevas sentencias condicionales de tipo “*if()*” son suficientes para realizar la elección. En la primera de ellas, se trata de situaciones en las que la velocidad es baja ($V < 0.5$ m/s), y se utiliza la sentencia “*max()*”, cuyo objetivo es comparar las variables que el usuario desea, y devolver en valor numérico la mayor de ellas. El valor obtenido se asigna a la matriz “*Nufinal*”. En la segunda de las sentencias condicionales, se asigna directamente a la matriz “*Nufinal*” el valor obtenido en el cálculo de Nusselt forzado, dado que para velocidades del viento altas ($V > 0.5$ m/s) se asume este número como el correcto.

```

58 ▾ if(Gr[i,1]*Prandt1[i,1]>=10^2 & Gr[i,1]*Prandt1[i,1]<10^4){
59   A2=0.850
60   m2=0.188
61 }
62 ▾ if(Gr[i,1]*Prandt1[i,1]>=10^4 & Gr[i,1]*Prandt1[i,1]<10^6){
63   A2=0.480
64   m2=0.250
65 }
66
67 Nunat=rbind(Nunat,A2*(Gr[i,1]*Prandt1[i,1])^m2)
68 Nucor=rbind(Nucor,0.55*Nu90[i,1])
69
70 ▾ if (MatrizEnteraCorregida[i,4]<=0.5){
71   Nufinal=rbind(Nufinal,max(Nunat[i,1],Nucor[i,1],Nuforc[i,1]))
72
73 }
74 ▾ if (MatrizEnteraCorregida[i,4]>0.5){
75   Nufinal=rbind(Nufinal,Nuforc[i,1])
76 }
77 }

```

Figura 12: Programa cálculo de número de Nusselt parte 3. Fuente: Elaboración propia

Para completar el cálculo del enfriamiento por convección total únicamente falta un paso. Las sentencias que se muestran en la Figura13 podrían haber sido añadidas en el anterior script, pero en este estudio se ha diseñado uno nuevo con el objetivo de optimizar y reducir el tiempo necesario de compilación en el proceso.

En primer lugar, se crean las matrices “*lamda*” y “*Pc*” para su posterior construcción, utilizando la sentencia “*rbind()*” vacía. De la misma forma que en los anteriores procedimientos de cálculo de pérdidas de calor programados en el software R, se utiliza un comando iterativo del tipo “*for()*” para la construcción de ambas matrices. Al mismo tiempo se añaden valores a las matrices existentes, utilizando la expresión [14] para el cálculo de la conductividad térmica del aire (λ_f) y la expresión [18] para el cálculo de pérdidas de calor por convección total (P_c). En esta última se hace referencia de la matriz “*Nufinal*” anteriormente creada, para trabajar en cada instante con el número correcto de Nusselt obtenido.

```

3 lamdaf=rbind()
4 Pc=rbind()
5 for (i in 1:totalMat){
6   lamdaf=rbind(lamdaf,2.42*10^-2 + Tf[i,1]*7.2*10^-5)
7   Pc=rbind(Pc,pi*lamdaf[i,1]*(105 - MatrizEnteraCorregida[i,2])*Nufinal[i,1])
8 }

```

Figura 13: Programa cálculo de pérdidas de calor por convección. Fuente: Elaboración propia

2.1.1.3.4 Ganancias de calor por efecto Joule (P_J)

Procedimiento teórico

Para realizar el cálculo de máxima capacidad de corriente en línea, es necesario tener en cuenta las ganancias de calor originadas por el efecto Joule. Si por un conductor circula corriente eléctrica, parte de la energía cinética de los electrones se transforma en calor debido al choque que sufren los electrones con las moléculas del conductor por el que circulan, elevando la temperatura del mismo. La expresión que permite calcular en valor numérico la cantidad de calor ganado es la siguiente (Hipertextual SL., 2015):

$$P_j = k_j * I_{ac}^2 * R_{dc20} * [1 + \alpha * (T_{av} - 20^\circ C)] \quad [24]$$

I_{ac} = corriente que circula por el conductor (A)

k_j = factor de incremento de resistencia debido a efecto pelicular

R_{dc20} = resistencia del conductor en corriente continua por unidad de longitud a 20°C (Ω/m)

α = variación de la resistencia con la temperatura ($^\circ C^{-1}$)

T_{av} = temperatura media de operación del conductor ($^\circ C$)

Como valor medio del factor k_j se sugiere utilizar 1.0123, y la resistencia en corriente alterna puede calcularse de la siguiente forma:

$$RT_{dc} = R_{dc20} * [1 + \alpha * (T_{av} - 20^\circ C)] \quad [25]$$

$$R_{ac} = k_j * RT_{dc} \quad [26]$$

R_{ac} = resistencia del conductor en corriente alterna (Ω/m).

Procedimiento en software R

El procedimiento de cálculo de las ganancias de calor por efecto Joule, se realiza de diferente forma en el software R. El objetivo principal del programa trata de calcular la máxima ampacidad, por lo que el valor de la corriente en línea es desconocido. Al asumir como máxima la temperatura a la que se encuentra el conductor, y aplicarlo como condición en el procedimiento, la corriente en línea utilizada en la expresión [24] coincide con la máxima capacidad de la línea.

Dado que la corriente de línea es desconocida, se elabora el cálculo de las ganancias por Joule aplicando una modificación a la expresión [6].

$$P_j = P_c + P_r - P_s \quad [27]$$

Al mismo tiempo, se aprovecha para calcular la corriente continua máxima en línea. Una modificación de la expresión [24], permite realizarlo fácilmente.

$$I_{ac} = \sqrt{\frac{P_j}{R_{ac}}} \quad [28]$$

En la Figura14 se muestra el procedimiento a seguir. Del mismo modo que en anteriores programas del software, se opta por agrupar y ordenar los datos en matrices de única columna y tantas filas como sean necesarias.

En primer lugar, se crean las matrices inicialmente vacías “Pj” e “Iac” mediante la sentencia “rbind()” vacía. Posteriormente, se crean los elementos llamados “Rdc20”, asignándole el valor correspondiente a la resistencia eléctrica a 20°C en corriente continua, coincidiendo con los datos obtenidos del ANEXO I, y “alphaR”, asignándole un valor de $4.03 \cdot 10^3$ correspondiente a la variación de la resistencia con la temperatura.

Hasta el momento, el único dato conocido de resistencia eléctrica es a 20°C, de modo que, es necesario realizar una conversión para la obtención de resistencia a cualquier temperatura. Para ello, utilizando la expresión [25], se crea un elemento llamado “RTdc” asumiendo que el conductor alcanza una temperatura de 105°C. A su vez, se realiza una segunda conversión para obtener la resistencia eléctrica en corriente alterna, aplicando la expresión [26] y asignando el nombre de “Rac” al elemento creado.

Para la construcción de las matrices “Pj” e “Iac”, se ejecuta una secuencia iterativa del tipo “for()”, que se repite tantas veces como elementos componen las filas de la matriz conjunta. Dado que, las matrices correspondientes a otro tipo de pérdidas y ganancias de calor tienen el mismo tamaño (Pc, Pr, Ps), la matriz “Pj” puede construirse al completo y uno por uno, aplicando la expresión [27]. De esta forma se obtiene el valor de las ganancias de calor por efecto Joule en cada instante y en el periodo de tiempo deseado. Por otro lado, se aprovecha la secuencia iterativa, para construir al mismo tiempo la matriz correspondiente al cálculo de corriente alterna en línea, aplicando la expresión [28].

```

1 Pj=rbind()
2 Iac=rbind()
3 Rdc20=0.2241*10^-3
4 alphaR=4.03*10^-3
5 RTdc=Rdc20*(1+alphaR*(105-20))
6 Rac=1.0123*RTdc
7 for (i in 1:totalMat){
8   Pj=rbind(Pj,Pc[i,1] + Pr[i,1] - Ps[i,1])
9   Iac=rbind(Iac,sqrt(Pj[i,1]/Rac))
10 }

```

Figura 14: Programa cálculo de ganancias de calor por efecto Joule y ampacidad. Fuente: Elaboración propia

Una vez calculada la corriente continua en línea, se observa en la Figura15 algunos de los datos que componen la matriz “*lac*”. Se trata de tres ejemplos en los que no existe valor numérico asignado, pero existe un elemento llamado “*NaN*” que ocupa un lugar dentro de la matriz.

	<i>lac</i>
699	489.6968
700	489.9211
701	NaN
702	NaN
703	508.1896
704	551.1806
705	NaN
706	532.6254
707	489.4157
708	517.6335
709	521.0765

Figura 15: Ejemplo resultados ampacidad erróneos. Fuente: Elaboración propia

El origen de las elementos “*NaN*” se localiza en los valores de velocidad del viento obtenidos por el sensor de la central. Se observa en la Figura16 que los componentes 701,702 y 705 correspondientes a la columna de velocidad del viento de la matriz “*Viento*” ofrecen resultados negativos. En el cálculo del número de Reynolds se aplica la expresión [10], de manera que, un valor negativo de velocidad del viento da lugar a un valor negativo de Reynolds. Posteriormente, se realiza el cálculo del número de Nusselt, y como se observa en la Figura11, un valor negativo de Reynolds no cumple ninguna de las condiciones impuestas para la construcción de “*Nu90*”, y por esta razón, se asigna un valor “*NaN*” errático. El proceso se ve arrastrado de elementos de este tipo hasta la obtención de la matriz “*lac*”, sin originar ningún problema en el procedimiento de cálculo del resto de elementos.

	▲ Tiempo ▼	VelocidadV ▼	DirecciónV ▼
698	735144.1	0.271	258.105
699	735144.1	0.114	233.185
700	735144.1	0.188	249.355
701	735144.1	-0.061	250.352
702	735144.1	-0.144	153.662
703	735144.1	0.198	344.494
704	735144.1	0.299	339.621
705	735144.1	-0.015	315.255
706	735144.1	0.364	267.298
707	735144.1	0.068	312.154
708	735144.1	0.234	286.237
709	735144.1	0.336	265.415
710	735144.1	0.207	250.241

Figura 16: Ejemplo matriz del viento con valores negativos. Fuente: Elaboración propia

El último paso en llevar a cabo, consiste en la conversión de corriente continua a corriente alterna, aplicando el procedimiento teórico anteriormente explicado.

En primer lugar, el procedimiento descrito en la Figura14, resulta problemático para valores erráticos tipo “NaN”. No existe posibilidad de realizar comparaciones de valores entre un elemento “NaN” y un valor numérico, como se observa en las sentencias condicionales del procedimiento. Para ello, se procede a una conversión de valores “NaN” a valores numéricos.

La sentencia de la Figura17 basta para asignar un valor numérico 0 a todos los elementos “NaN”. De este modo, puede posteriormente hacerse comparaciones con otros valores numéricos.

```
> Idc[is.nan(Idc)]<-0
```

Figura 17: Sentencia sustitución de valores erróneos por nulos. Fuente: Elaboración propia

Una vez eliminados los valores “NaN” y convertidos en elementos de valor nulo, su purga es necesaria para el análisis de resultados a realizar posteriormente, pero antes, se añade la columna de tiempo utilizada previamente en la matriz conjunta, para asociar la ampacidad a cada instante determinado.

En la Figura18 se observa el procedimiento a seguir para crear una matriz que asocie la ampacidad con su respectivo instante en el tiempo.

En primer lugar, existe un paquete llamado “zoo” en la plataforma Rstudio, que permite la utilización de sentencias para la conversión de fechas en valor numérico a fechas concretas en las que se indica el año, mes, día y hora exacta. Su instalación no es necesaria, puesto que viene incluido inicialmente, pero si es necesario aplicarle el comando “library(“zoo”)” para poder utilizar las sentencias incluidas en el paquete (The R Foundation, 2019).

Se crea un elemento llamado “IacTot” que se compone de una matriz de dos columnas y mismo número de filas que datos obtenidos por los sensores. La sentencia “cbind()” permite la creación de una matriz columna por columna, de modo que se añade, en primer lugar, la columna de tiempo extraída de la matriz conjunta, y en segundo lugar, la matriz “Iac” obtenida previamente.

Hasta el momento, se ha realizado la asignación de valores de tiempo a cada valor de ampacidad obtenido, siendo el tiempo expresado en valor numérico. Para hacerlo visualmente más comprensible y poder graficarlo de forma más sencilla posteriormente, se realiza una conversión a valores de fecha completos. Primero de todo, se crea un elemento llamado “IacCor” asignándole un valor obtenido de la sentencia “as.Date()”, con la que se convierte un conjunto de datos numéricos en datos de fecha. Este tipo de sentencia no es suficiente, ya que únicamente ofrece las fechas en formato “Año/Mes/Día”, y el estudio pretende llevar a cabo un análisis minuto a minuto. Por ello, es necesaria la utilización de la sentencia “as.POSIXct()” y aplicarla a un conjunto de datos convertidos en formato de fecha, como previamente se ha hecho con el elemento “IacCor”. Esta sentencia, ofrece las fechas en formato “Año/Mes/Día Hora/Minutos/Segundos”. Se reemplaza de esta forma el valor de “IacCor” obtenido anteriormente y que finamente se compone de una columna y mismo número de filas que datos obtenidos por los sensores.

Por último, es necesario reemplazar de nuevo el valor de “IacCor” aplicando la sentencia “as.Date.frame()”, que permite la posibilidad de ser utilizado para la construcción posterior de una nueva matriz. Utilizando el comando “cbind()” se reemplaza la primera columna de datos de la matriz “IacTot” en formato de fecha numérica, por la columna de datos de fechas convertidas denominada como “IacCor”. Para finalizar, se asigna un nombre a cada columna de la matriz, en este caso “Date” e “Iac”.

```

1 library("zoo")
2 IacTot=cbind(MatrizEnteraCorregida[,1],Iac)
3 IacCor=as.Date(IacTot[,1])
4 IacCor=as.POSIXct(IacCor)
5 IacCor=as.data.frame(IacCor)
6 IacTot=cbind(IacCor,IacTot[,2])
7 colnames(IacTot)<-c("Date","Iac")

```

Figura 18: Programa añadir fechas a matriz de ampacidad. Fuente: Elaboración propia

La Figura19 muestra parte de los elementos que componen la matriz “IacTot”, en la que se puede observar un error repetido en la columna de las fechas, ya que en vez de 2012, el programa ofrece un valor de 3982.

	Date	Iac
1	3982-10-03 15:58:00	715.0541
2	3982-10-03 15:59:00	716.6808
3	3982-10-03 16:00:00	808.2968
4	3982-10-03 16:01:00	715.1473
5	3982-10-03 16:02:00	737.1461
6	3982-10-03 16:03:00	753.0095
7	3982-10-03 16:04:00	846.6054
8	3982-10-03 16:04:59	762.6732
9	3982-10-03 16:06:00	734.6492
10	3982-10-03 16:07:00	667.7821
11	3982-10-03 16:08:00	771.3990

Figura 19: Resultado matriz fechas y ampacidad. Fuente: Elaboración propia

Dado que el error es complejo de reparar, el estudio muestra los años de la siguiente forma:

- 3982 (2012)
- 3983 (2013)
- 3984 (2014)
- 3985 (2015)
- 3986 (2016)
- 3987 (2017)

Una vez completada la matriz “IacTot” se lleva a cabo la purga de valores erróneos, anteriormente reemplazados por valores nulos. La Figura20 muestra la sentencia que elimina los datos nulos, eliminando a su vez, las respectivas filas en las que se encuentran. De esta forma, el tamaño de la matriz se reduce.

En primer lugar, la sentencia “options(max.print=)” simplemente permite al usuario fijar un máximo de datos con los que trabajar. El valor impuesto por el programa es menor al utilizado en el estudio, por eso es necesario fijar un nuevo número. En segundo lugar, se observa la sentencia que se debe aplicar a la matriz para la eliminación de datos nulos. Se aprovecha la sentencia para asignarla directamente a “IacTot”, reemplazando así su valor anterior.

```
1 options(max.print=1500000)|
2 IacTot<-IacTot[!(apply(IacTot, 1, function(y) any(y == 0))
```

Figura 20: Programa eliminación de valores nulos. Fuente: Elaboración propia

Llegados a este punto, se ha completado el cálculo de ampacidad en cada instante. Se ha llevado a cabo la explicación, tomando como ejemplo los datos obtenidos por el sensor “progress” durante el periodo de tiempo de 2012 a 2015. Cabe resaltar que el procedimiento de cálculo de ampacidad durante el periodo de 2015 a 2018 es el mismo, en el que únicamente cambian los nombres de los elementos. Se obtiene como resultado final la matriz “*lac2Tot*” que muestra la ampacidad relacionada con el respectivo instante en el tiempo. El ANEXO II incluye todas las matrices de datos utilizadas para esta segunda parte del análisis.

En este caso (datos 2015-2018), se lleva a cabo un análisis paralelo, en el que se trabaja con datos obtenidos por un sensor llamado “Herter”. El procedimiento es exactamente el mismo que el de los datos obtenidos por sensores “Progress”. Se obtiene como resultado final la matriz “*lach*” que muestra la ampacidad relacionada con el respectivo instante en el tiempo. El ANEXO II incluye todas las matrices utilizadas en este caso también.

2.1.1.4 Cálculo de ampacidad estática

El estudio se basa en la utilización de sensores de monitorización de datos, de modo que se pretende analizar los beneficios posibles a obtener mediante una limitación de línea dinámica. Por ello, para realizar una comparación posteriormente, es necesario el cálculo de ampacidad en líneas estáticamente limitadas.

Se toma como ejemplo una línea X asumiendo las siguientes condiciones:

- Temperatura ambiente: 26°C
- Radiación solar: 1000 W/m²
- Velocidad del viento: 0.6 m/s
- Dirección del viento: 90°

Estas son las condiciones habitualmente utilizadas por empresas que optan por limitar la línea estáticamente y abastecerla con la misma corriente durante un periodo largo de tiempo.

En la Figura21 se muestra el procedimiento para la obtención de la corriente limitada estáticamente.

```

1 D=15.79*10^-3
2 absor=0.5
3 eps=0.5
4 Boltz=5.67*10^-8
5 alphaR=4.03*10^-3
6 R20dc=0.2241*10^-3
7 A=cbind(0,26,1000,0.6,90)
8 Ps=absor*D*A[i,3]
9 Pr=pi*D*eps*Boltz*((105+273)^4 - (A[i,2]+273)^4)
10 Pc=82.6
11 Pj=Pc+Pr-Ps
12 RTdc=R20dc*(1+alphaR*(105-20))
13 Rac=RTdc*1.0123
14 I=sqrt(Pj/Rac)

```

Figura 21: Programa cálculo corriente estática para hipótesis asumida. Fuente: Elaboración propia

El cálculo de ampacidad se lleva a cabo mediante la aplicación del método CIGRE, de la misma forma que para líneas limitadas dinámicamente. En primer lugar, se asignan los elementos fijos "D", "absor", "eps", "Boltz", "alphaR" y "R20dc". Los valores asignados son exactamente iguales que los explicados en el cálculo dinámico.

Dado que en este caso las condiciones son constantes durante todo el tiempo, se opta por crear una matriz llamada "A" que utilizando la sentencia "cbind()" se compone columna a columna asignando así los valores de las condiciones aplicadas. Esta matriz se crea para ser utilizada de la misma forma que lo hacía la matriz conjunta en el cálculo dinámico y se compone de 5 columnas como se observa en la Figura22. Se asigna un valor de 0 al tiempo, ya que no es necesario en el proceso.

	Tiempo	Tamb	RadSol	VelocidadV	DirecciónV
1	0	26	1000	0.6	90

Figura 22: Matriz A de condiciones asumidas. Fuente: Elaboración propia

Aplicando las expresiones [7], [8] y [27], y llevando a cabo el cálculo de pérdidas de calor por convección, se obtienen los siguientes resultados:

- $P_s = 7.89$ (W)
- $P_r = 17.5$ (W)
- $P_c = 82.6$ (W) se obtiene mediante el cálculo de la Figura10, Figura11, Figura12 y Figura13
- $P_j = 92.2$ (W)
-

Aplicando las expresiones [25] y [26] se obtienen los siguientes resultados para las resistencias eléctricas:

- $RTdc = 3.008655 * 10^{-4}$
- $Rac = 3.045661 * 10^{-4}$

Por último, mediante la expresión [28] se obtiene la ampacidad estática:

$$- I_{ac} = 550.134078 \text{ (A)}$$

2.2 DESCRIPCIÓN DE LOS RESULTADOS

El principal objetivo del programa es el de calcular la ampacidad de la línea en cada instante, con el fin de posibilitar un mayor aprovechamiento de la línea. En el estudio se lleva a cabo un análisis de capacidad de transporte de la línea minuto a minuto, optando por utilizar unos límites dinámicos que varían dependiendo de factores meteorológicos y de las propias características del conductor utilizado.

El estudio analiza el beneficio posible a obtener mediante sistemas de monitorización. Por un lado, se realiza una comparación entre la ampacidad calculada utilizando datos obtenidos del sensor "Progress" y la ampacidad estática asumiendo las condiciones anteriormente explicadas. Por otro lado, se compara la ampacidad lograda utilizando datos obtenidos del sensor "Herter" y la ampacidad estática.

De este modo, se puede analizar el beneficio posible a obtener con sistemas de monitorización de datos, y a su vez, analizar las diferencias entre los diferentes sensores.

2.2.1. Análisis ampacidad 2012-2015

Con el objetivo de analizar el comportamiento de la línea a lo largo del tiempo, se grafica la ampacidad lograda utilizando los datos obtenidos mediante el sensor "Progress", ya que son los únicos datos existentes en el periodo de tiempo de 2012 a 2015.

En un principio, se ejecuta una sentencia del tipo *"plot()"*, muy común en varias plataformas de programación. En el caso de otros programas, como son *"Matlab"* y *"Octave"*, esta sentencia bastaría para obtener un gráfico en el que poder moverse, ampliar y analizar con mayor certeza el comportamiento de la línea a lo largo del tiempo. En el caso de Rstudio, al ejecutar una sentencia de este tipo, se obtiene un grafico en formato de imagen, de forma que no puede trabajarse con él. Podría bastar para un análisis con pocos datos, pero en este caso, se trabaja con una cifra superior al millón de datos, y por tanto, resulta demasiado complejo sacar conclusiones de una imagen que los recoja todos.

Existe la posibilidad de descargar paquetes en Rstudio, que permitirían realizar gráficos en los que poder trabajar libremente y analizar las particularidades del comportamiento de la línea. Se trata de los paquetes *"ggplot2"*, *"xts"* y *"dygraphs"*. El paquete *"ggplot2"* permite crear gráficos más completos, y ofrece la posibilidad de utilizar las herramientas que ofrecen otros paquetes. En el caso de este estudio, se utiliza el paquete *"xts"* para posibilitar la opción de crear series de tiempo. Por último, el paquete *"dygraphs"* permite al usuario analizar libremente un gráfico. Una combinación de los tres permite llevar a cabo la creación del grafico necesario para el análisis de la transmisión de la línea.

La Figura 23 muestra el procedimiento a seguir para la creación del gráfico deseado.

En primer lugar, es necesario ejecutar la sentencia `library()` para que el programa permita al usuario trabajar con los paquetes instalados.

En segundo lugar, se ejecuta una sentencia incluida en los paquetes instalados llamada `ggplot()`, en la que se incluye el elemento que se quiere dibujar. En el caso de este estudio, se trata de la ampacidad de la línea calculada durante los años 2012 y 2015 y guardada en el sistema como la matriz `IacTot`. Es necesario determinar también mediante la función `aes(1,2)` cuál es el deseado eje X e Y. En este caso el X se compone de los datos de la columna `Date` y la Y de los datos de la columna `Iac`, ambas pertenecientes a la matriz `IacTot`. Para completar el dibujo, se debe añadir una sentencia `geom_line()` vacía (The R Foundation, 2019).

Hasta ahora, únicamente se ha obtenido una imagen del gráfico deseado, insuficiente para el análisis deseado. Para poder ampliar el análisis y observar el comportamiento de la línea de transporte a gusto del usuario, es necesario crear una serie de tiempo mediante la sentencia `xts(1,order.by=2)`. La sentencia ofrece la posibilidad de crear una serie de tiempo en la que un elemento (1), en este caso los valores de ampacidad de la columna `Iac` de la matriz `IacTot`, sea asignado a otro elemento (2), obligatoriamente un elemento en formato de fecha. La función `order.by=` indica el elemento respecto del que se crea la serie de tiempo. El resultado obtenido se asigna a un elemento creado llamado `IacTot_xts` (Ryan, Ulrich, & Bennett, 2018).

La creación de un elemento en formato de serie de tiempo es obligatoria para la aplicación de la sentencia `dygraph()`, que acompañada de la función `dyRangeSelector()` vacía, permiten la movilidad dentro del gráfico. De este modo, pese a trabajar en un periodo de tiempo de 3 años, se posibilita la opción de observar el comportamiento de la línea de transporte minuto a minuto. También pueden añadirse nombres a los ejes y título al gráfico, como se observan las funciones `ylab=` y `main=` dentro de la sentencia `dygraph()` (The R Foundation, 2018).

```

1 library(ggplot2)
2 library(xts)
3 library(dygraphs)
4 |
5 ggplot(IacTot, aes(Date, Iac)) + geom_line()
6 IacTot_xts<-xts(IacTot$Iac, order.by=IacTot$Date)
7 dygraph(IacTot_xts, ylab="Iac", main="Ampacidad en línea") %>%
8   dyRangeSelector()

```

Figura 23: Programa creación de gráficos avanzados. Fuente: Elaboración propia

En la Figura 24 se observa el gráfico creado mediante el anterior “script”, en el que se muestra el resultado de ampacidad respecto del tiempo. Existe la posibilidad de pinchar el tramo que el usuario desea observar en el propio gráfico, o mover la barra que se encuentra debajo, en la que se puede ampliar o reducir el gráfico a gusto del análisis que pretende el usuario.

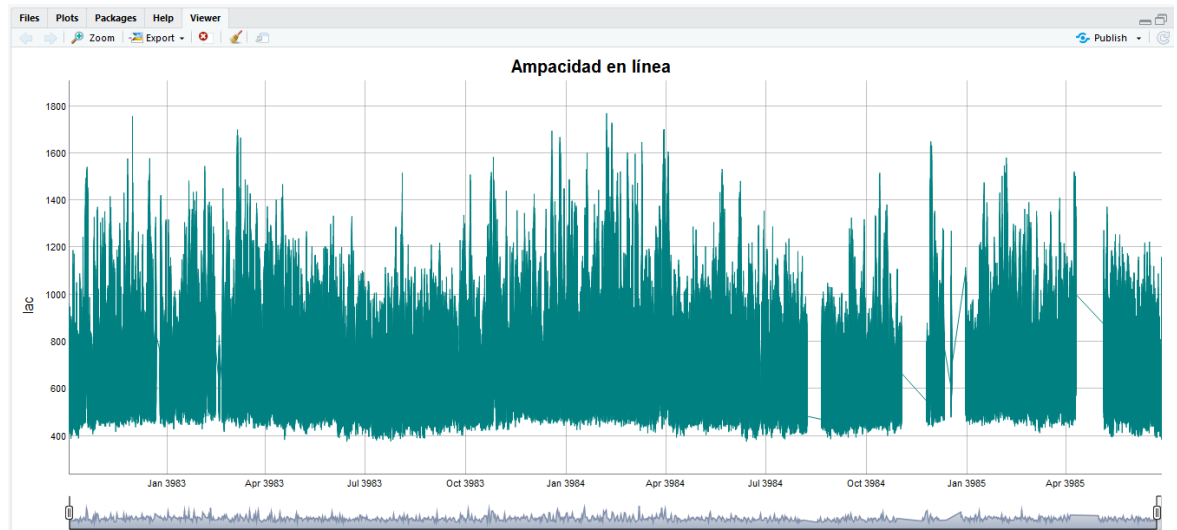


Figura 24: Ejemplo de gráfico avanzado obtenido para análisis de ampacidad. Fuente: Elaboración propia

El gráfico obtenido se compone de un número de datos muy elevado. Dada la complejidad de analizarlo, en el estudio se opta por dividir el análisis por estaciones. Partiendo de la matriz de ampacidad “IacTot”, se divide en matrices de menor tamaño de la siguiente forma:

- “IacOtono2012”: octubre, noviembre y diciembre de 2012.
- “IacInvierno2013”: enero, febrero y marzo de 2013.
- “IacPrimavera2013”: abril, mayo y junio de 2013.
- “IacVerano2013”: julio, agosto y septiembre de 2013.
- “IacOtono2013”: octubre, noviembre y diciembre de 2013.
- “IacInvierno2014”: enero, febrero y marzo de 2014.
- “IacPrimavera2014”: abril, mayo y junio de 2014.
- “IacVerano2014”: julio, agosto y septiembre de 2014.
- “IacOtono2014”: octubre, noviembre y diciembre de 2014.
- “IacInvierno2015”: enero, febrero y marzo de 2015.
- “IacPrimavera2015”: abril, mayo y junio de 2015.

Una vez clasificada la ampacidad por estaciones, se plantea un estudio del beneficio posible en la capacidad de transporte de la línea. En términos de capacidad de transporte, el cálculo de ampacidad llevado a cabo ofrece en cada instante el número de Amperios máximo

que la línea puede transmitir. Por otro lado, empresas del mundo de la energía eléctrica, centrándose el estudio en Iberdrola, optan por asumir las condiciones meteorológicas descritas anteriormente, y deciden abastecer a la línea constantemente con un mismo valor de corriente.

Se analiza en este estudio, la diferencia que existe en cada instante entre la ampacidad dinámica y la corriente estática propuesta por algunas empresas.

La Figura25 muestra el programa que permite calcular el beneficio posible en Amperios durante una estación, en este ejemplo se realiza para calcular el beneficio en otoño de 2012.

En primer lugar se obtiene mediante la sentencia “*dim()*” y los elementos “*lagB*” y “*totalB*” el número total de iteraciones necesarias en el proceso iterativo. En segundo lugar, se fija el valor de corriente estática obtenido anteriormente y se denomina como “*IacEst*”. Posteriormente, se crea un elemento llamado “*Diferencia*” al que se le asigna un valor nulo. Por último, se ejecuta un proceso iterativo del tamaño de la matriz de ampacidad con la que se trabaja, en el que se suma al elemento “*Diferencia*” el resultante de la resta entre la ampacidad dinámica y estática. Una vez terminado el proceso iterativo, se conoce el beneficio total durante la estación, ya que se ha acumulado en el elemento “*Diferencia*”.

```

1 lagB=dim(IacOtono2012)
2 totalB=lagB[1]
3 IacEst=550.134078
4 Diferencia=0
5 for (i in 1:totalB) {
6   Diferencia=Diferencia+(IacOtono2012[i,1]-IacEst)
7 }

```

Figura 25: Programa comparación ampacidad dinámica y corriente estática. Fuente: Elaboración propia

Tras calcular el beneficio máximo durante la estación entera, se ha realizado un cálculo de beneficio más visual y comprensible, como se observa en la Figura26.

Realizando una división entre el beneficio máximo obtenido, acumulado como “*Diferencia*”, y el número total de minutos monitorizados en la estación, en este caso “*totalB*”, se obtiene la cantidad de Amperios por minuto que podrían aprovecharse con sistemas dinámicos, respecto de sistemas estáticos.

9 `Beneficio.min=Diferencia/totalB`

Figura 26: Cálculo de beneficio posible en A/min Fuente: Elaboración propia

Una vez aplicados los ejemplos de la Figura25 y Figura26 para el resto de estaciones, se construye una matriz que recoge el beneficio máximo posible en cada estación, como se observa en la Figura27.

El análisis por estaciones facilita la comprensión del comportamiento de la línea y su capacidad de transporte. Se han resaltado en la figura los valores más llamativos y la estación a la que pertenecen. Por un lado, en rojo, se resalta la estación en la que menos beneficio podría obtenerse (80.21 A/min). Por otro lado, en verde, la estación en la que mayor beneficio podría obtenerse (206.729 A/min). Ambas pertenecen al año 2014.

	Date	A/min
1	2012 Otoño	149.713
2	2013 Invierno	182.779
3	2013 Primavera	136.6178
4	2013 Verano	100.839
5	2013 Otoño	171.839
6	2014 Invierno	206.729
7	2014 Primavera	135.236
8	2014 Verano	80.21
9	2014 Otoño	127.557
10	2015 Invierno	162.144
11	2015 Primavera	129.841

Figura 27: Resultados de beneficio en A/min por estaciones 2012-2015. Fuente: Elaboración propia

La diferencia en beneficio posible entre estaciones es clara, y sigue una línea parecida en los diferentes años tomados en el estudio. Resulta llamativo que los valores más altos de beneficio se obtienen en otoño e invierno, estaciones en las que las condiciones meteorológicas son más desfavorables. La explicación es la siguiente:

La expresión [28] muestra la relación directa entre las pérdidas de Joule y la ampacidad, de forma que, se obtiene un mayor valor de ampacidad cuando las pérdidas de Joule son mayores. ($I_{ac} \uparrow \gg P_J \uparrow$).

La expresión [27] de la que se obtiene el valor de las ganancias por efecto Joule muestra la relación con el resto de valores de pérdidas, de forma que un incremento de ganancias por efecto Joule se puede deber a un incremento en las pérdidas por radiación o convección, o una bajada en ganancias por radiación solar. ($P_J \uparrow \gg P_c \uparrow \text{ ó } P_r \uparrow \text{ ó } P_s \downarrow$).

Para que suceda un incremento en las pérdidas de potencia por convección, teniendo en cuenta la expresión [18], [19] y [21], podría disminuir la temperatura ambiente, un incremento en la velocidad del viento o un incremento en la dirección del viento. ($P_c \uparrow \gg T_a \downarrow \text{ ó } V \uparrow$).

Para que suceda un incremento en las pérdidas de potencia por radiación, teniendo en cuenta la relación directa al aplicar la expresión [8], la temperatura ambiente tendría que disminuir. ($P_r \uparrow \gg T_a \downarrow$).

Para que disminuyan las ganancias por radiación solar, como muestra la expresión [7], debe disminuir el valor de radiación solar global. ($P_s \downarrow \gg S \downarrow$)

La explicación determina que tanto una bajada de temperatura ambiente o de radiación solar, y un incremento de velocidad o dirección del viento, provocan la existencia de valores de ampacidad mayores. Esto se debe a que el enfriamiento en el conductor es mayor, y de este modo, puede transmitir mayores valores de corriente sin alcanzar temperaturas demasiado altas.

Si se analizan los valores obtenidos de pérdidas y ganancias de calor se deduce los valores entre los que oscilan:

- Pérdidas radiación [15 ~ 21 W/m]
- Ganancias radiación solar [0 ~ 11 W/m]
- Pérdidas convección [31 ~ 933 W/m]

Se observa que el alcance de las pérdidas de convección es mayor, provocando así, que el impacto del viento sea mayor que el de la temperatura ambiente y radiación solar.

Entre los beneficios máximos posibles en cada estación, los valores más llamativos se consiguen en el invierno y verano de 2014. A pesar de que la tendencia es parecida en los años estudiados, en 2014 se observa la diferencia más notable, y por ello, utilizando el gráfico obtenido en la Figura24, se pretende analizar más profundamente estas dos situaciones.

2.2.1.1 Invierno 2014

En la Figura28 se muestra un gráfico que recoge todos los valores de ampacidad logrados en enero, febrero y marzo de 2014. Se dibuja una línea roja constante que muestra el valor de corriente estática logrado previamente (550.134078 A). Dado que la cantidad de datos dibujados es muy alta y el dibujo no puede observarse con precisión, la única conclusión aparente es que existe una gran diferencia entre los valores que oscilan por encima del valor de corriente estática y los que oscilan por debajo. Parece a simple vista, que la cantidad de valores que oscilan por debajo es alta, superando siempre el valor de 400 A. De modo que, trabajando con condiciones asumidas previamente, se harían circular 550 A por una línea de valor máximo admisible de 400 A, provocando así una situación de riesgo. Por otro lado, los que oscilan por encima, como se muestran en la figura, alcanzan valores muy altos, logrando varios picos entre 1400-1800 A.

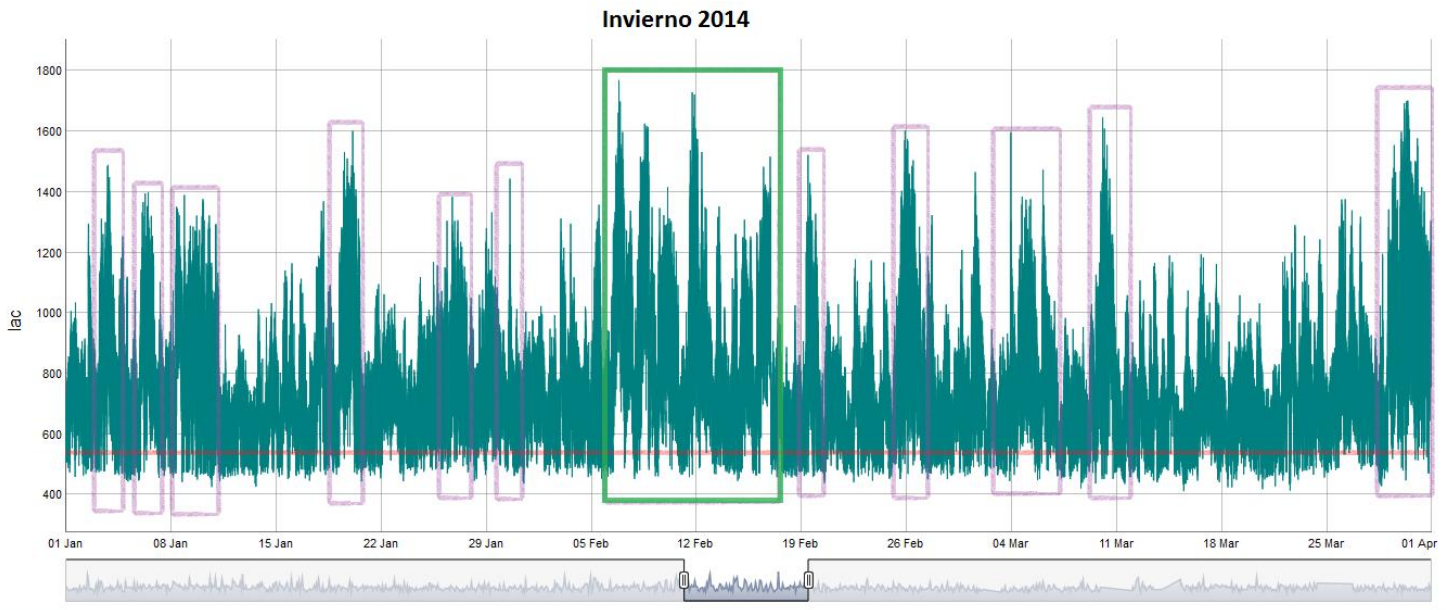


Figura 28: Gráfico de ampacidad en Invierno de 2014. Fuente: Elaboración propia

Las condiciones meteorológicas pueden variar notablemente del inicio al final del invierno. Se observa en la Figura28 que en el comienzo del invierno aparecen varios picos de valores de ampacidad altos. El otoño habitualmente termina con fuertes vientos, temperaturas bajas y precipitaciones, provocando la posibilidad de un enfriamiento mayor del conductor y así, una capacidad de transporte mayor. Por otro lado, se observa que durante el mes de marzo las oscilaciones son menores y no se alcanzan valores tan altos de ampacidad, excepto en los últimos días, en los que si se aprecia una subida notable. Ambas situaciones de cambio a otra estación podrían reducir precisión en el análisis, por lo que se decide analizar un periodo de tiempo localizado en pleno invierno, concretamente del 6 al 18 de febrero, como se resalta de verde en la imagen.

La ampliación del periodo seleccionado se muestra de forma más visual en la Figura29. Se observan varias situaciones en las que los valores de ampacidad aumentan continuamente hasta alcanzar un pico y posteriormente bajan, también de forma continuada. En estos casos, los valores de ampacidad se encuentran por encima del valor de corriente estática durante un periodo relativamente largo, por lo que, podría obtenerse un beneficio interesante en la capacidad de la línea.

En el estudio se analizan cuatro situaciones diferentes durante el periodo seleccionado como se marca en la Figura29:

- Subida 6-7 febrero (verde)
- Subida 11-12 febrero (verde)
- Valores bajos constantes 13-14 febrero (rojo)

- Bajada brusca 17 febrero (morado)

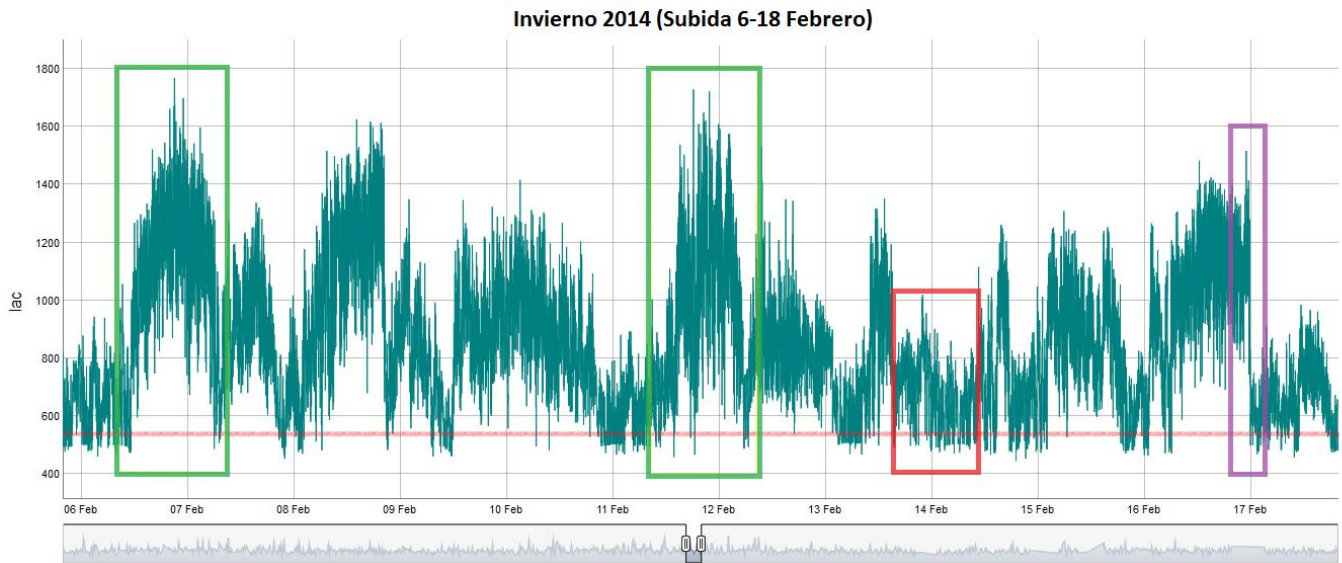


Figura 29: Gráfico de ampacidad subida 6-18 Febrero de 2014. Fuente: Elaboración propia

6-7 febrero: Subida

En la Figura30 se muestra la ampacidad de la línea durante el 6 y 7 de febrero. Se observa un claro comienzo de la subida de ampacidad el 6 de febrero a las 11 de la mañana. Hasta el momento, los valores oscilan cerca del valor de corriente estática, pero, de ahí en adelante, a pesar de las continuas subidas y bajadas de ampacidad, los valores crecen de forma ascendente hasta alcanzar un valor máximo de 1769.82 A. Este es el pico más alto logrado durante el invierno de 2014, y que ocurre a las 21:09 del 6 de Febrero. A partir de ahí, los valores de ampacidad siguen siendo altos pero comienzan a descender, hasta que el 7 de febrero a las 7:00 vuelven a oscilar cercanos al valor de corriente estática.

La figura muestra un periodo de tiempo de condiciones meteorológicas muy desfavorables, en las que el conductor sufre un enfriamiento causado por precipitaciones, fuertes vientos o temperaturas muy bajas. Incluso en situaciones de este tipo, dado que se monitorizan datos minuto a minuto, existen bajadas llamativas en los valores de ampacidad. La incidencia del viento en la línea podría ser uno de los factores que provoquen este fenómeno, ya que puede darse, por ejemplo, una situación en la que el conductor sufra una fuerte oleada de viento y al minuto siguiente que sea mínimo el impacto del mismo.

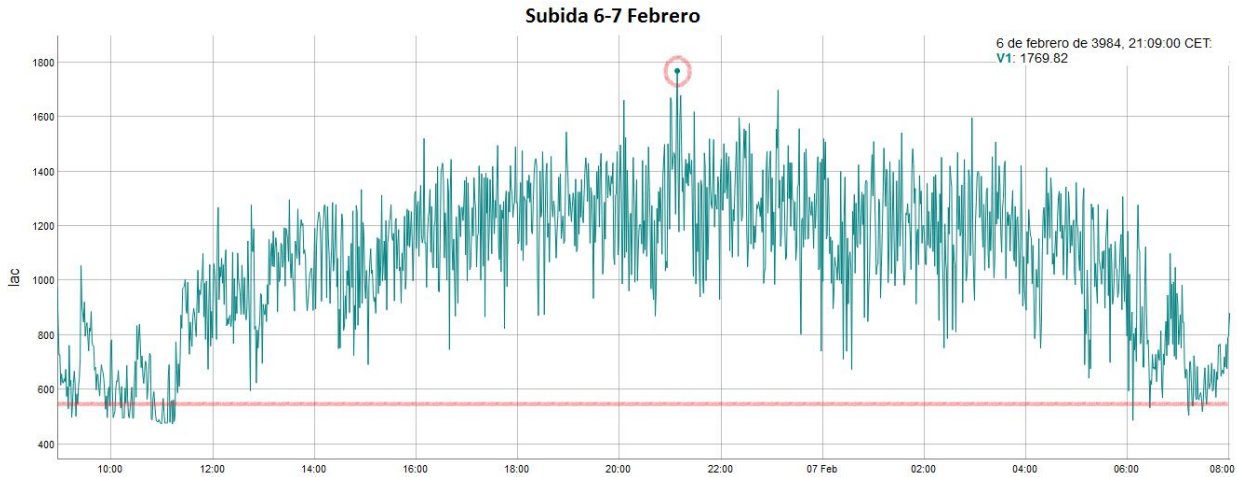


Figura 30: Gráfico de ampacidad subida 6-7 Febrero de 2014. Fuente: Elaboración propia

11-12 febrero: Subida

Se muestran en la Figura31 los valores de ampacidad logrados entre la 13:00 del 11 de febrero y las 6:00 del 12 de febrero. Pese a que la situación es parecida a la obtenida en los días 6 y 7, el comienzo de la subida y bajada no se aprecian tan fácilmente en este caso. Los valores de ampacidad oscilan de forma más notable, pero se observa como prácticamente en todo el tramo se logran valores mayores que el valor de corriente estática.

No se aprecia una tendencia de subida hasta conseguir el valor más alto, y posteriormente una bajada, sino que, a lo largo del tramo se obtienen varios picos de valores altos. En este caso el mayor de ellos ocurre a las 18:16 del 11 de febrero. La Figura31 muestra claramente el beneficio que podría obtenerse si se utiliza un sistema dinámico de monitorización en lugar de asumir condiciones estáticas. Exceptuando unos pocos minutos, la mayoría se encuentran por encima de la línea que marca el valor de corriente estático, con una diferencia notable.

Es probable que en este caso se trate de condiciones meteorológicas desfavorables. Al no tratarse de valores sueltos, sino de una tendencia de valores altos que se suceden de forma continua a lo largo de un periodo de tiempo, se valora una gran posibilidad de que ocurrieran vientos fuertes, heladas o precipitaciones. Asumiendo que en febrero anochece alrededor de las 18:00, se observa como prácticamente el tramo entero se sucede en horario nocturno, en el que la temperatura ambiente disminuye y se producen fuertes heladas. Se observa también como alrededor de las 6:00 de la mañana del 12 de febrero los valores disminuyen y se mantienen más bajos.

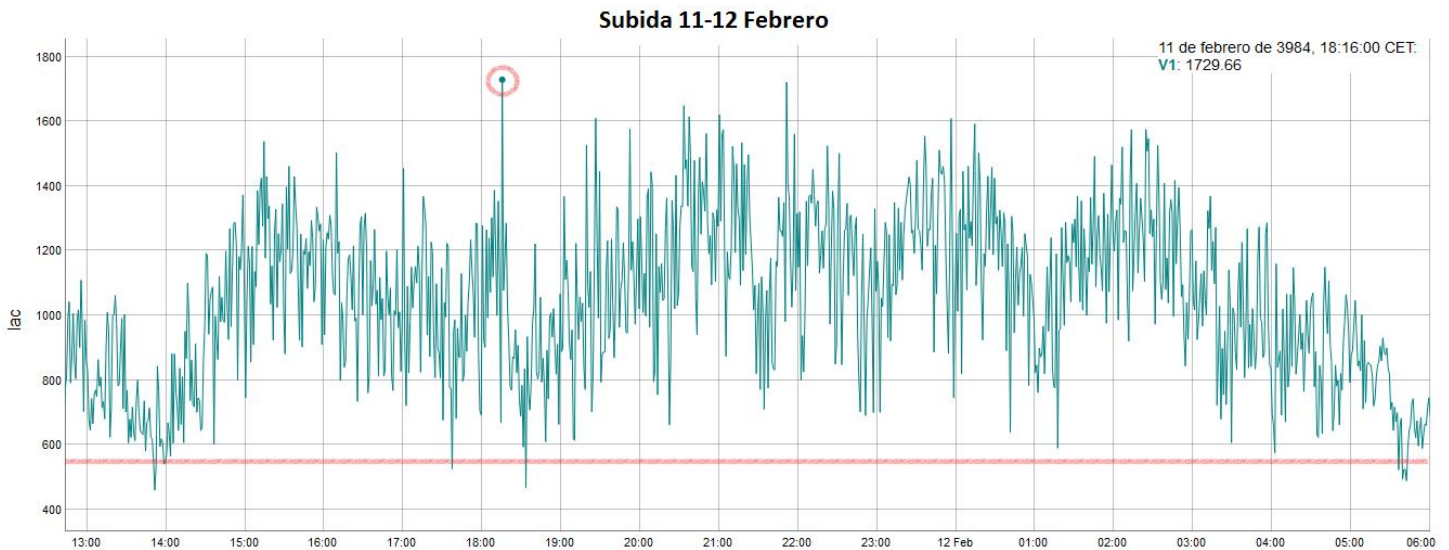


Figura 31: Gráfico de ampacidad subida 11-12 Febrero de 2014. Fuente: Elaboración propia

En la Figura32 se muestra una ampliación del valor más alto obtenido entre el 11 y 12 de febrero. Se trata de uno de los mayores valores de ampacidad logrados a lo largo del invierno de 2014, que pese a no coincidir con el pico más alto, se decide analizar en el estudio por su particular bajada y posterior subida.

Resulta complejo comprender las variaciones de valores de ampacidad minuto a minuto en este tramo. Se sucede entre las 17:20 y 19:30 del 11 de febrero, y pese a tratarse únicamente de un tramo de dos horas, en él puede encontrarse todo tipo de valores. En primer lugar, solamente dos valores se encuentran por debajo del valor de corriente estática, y lo hacen por una diferencia mínima. Por otro lado, resulta interesante observar como la existencia de dos minutos seguidos en los que la ampacidad logre valores similares, es prácticamente nula. Las oscilaciones abundan en el tramo, logrando valores altos tras valores bajos, y viceversa. Y, Visto que prácticamente en todo el tramo suceden subidas y bajadas, resulta más sencillo comprender cómo tras un valor cercano a los 600 A, en cosa de un minuto puede lograrse otro de 1729 A. Es cierto por otro lado, que difícilmente se observan oscilaciones mayores a los 600-700 A en este tramo, por lo que sigue resultando llamativo el salto que supera los 1100 A.

Como se explica anteriormente, los sensores de monitorización recogen datos minuto a minuto, por lo que no pueden existir cambios notables en la temperatura ambiente, ni en la radiación solar, de hecho, la radiación solar no varía prácticamente a lo largo de toda la noche. Por lo tanto, el viento es el factor que puede provocar este tipo de subidas y bajadas, ya que el sensor obtiene un único valor de impacto en cada minuto, sin analizar lo sucedido a lo largo del mismo. Podría tratarse de un momento de calma, seguido de una fuerte oleada de viento.

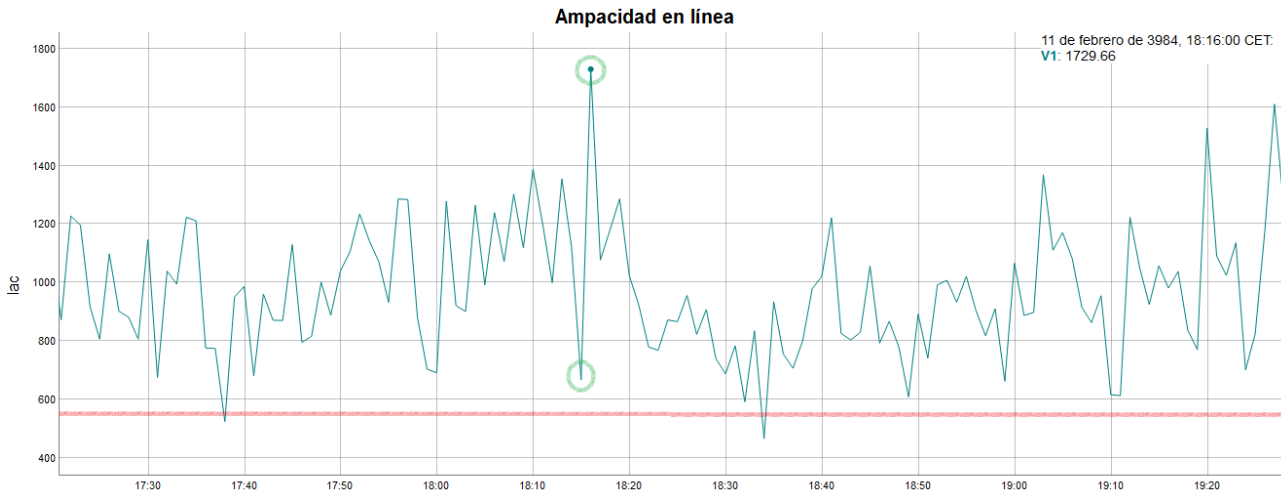


Figura 32: Pico más alto 11-12 Febrero de 2014. Fuente: Elaboración propia

13-14 febrero: Ampacidad baja constante

El invierno prácticamente se compone de constantes subidas de ampacidad en las que se logran valores muy altos, dadas las circunstancias meteorológicas. Las situaciones anteriores mostraban ejemplos de valores sumamente beneficiosos si se llevara a cabo una monitorización y limitación dinámica. Pero, con el objetivo de ofrecer un ejemplo de contraste, se analiza una situación en la que la ampacidad no alcanza valores demasiado altos y se encuentra cercana al valor de corriente estática.

La Figura33 muestra los valores de ampacidad logrados entre las 15:30 del 13 de febrero y las 10:30 del 14 de febrero. Se observan dos valores máximos cercanos a los 1000 A alrededor de las 22:00 del 13 de febrero. Pese a encontrarse la mayoría de datos por encima del valor de corriente estática, la diferencia es notablemente menor a las analizadas previamente, y, a partir de las 00:00 de febrero, se observan valores que oscilan cercanos al valor de corriente estática, provocando una situación de beneficio posible mínimo. En este caso, podría resultar interesante abastecer la línea de forma continua, ya que es menos arriesgado y el coste sería menor, pero, incluso en circunstancias de este tipo podría obtenerse un pequeño beneficio en la capacidad de transporte de la línea.

Un día soleado de invierno, en el que las temperaturas se elevan levemente y las precipitaciones son mínimas, o incluso un día en el que el impacto del viento en la línea es prácticamente inexistente, pueden ser la explicación a este tipo de situaciones.

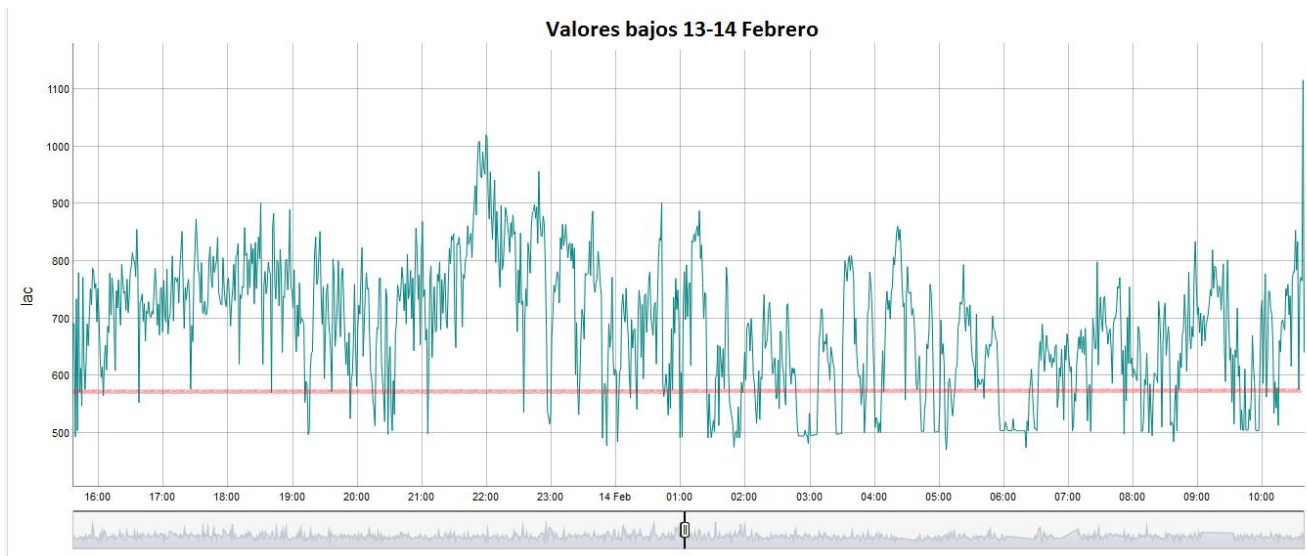


Figura 33: Gráfico de ampacidad bajada 13-14 Febrero de 2014. Fuente: Elaboración propia

17 febrero: Bajada brusca

Una bajada brusca de la ampacidad se analiza para completar el estudio del tramo elegido.

En la Figura34 se muestran los valores de ampacidad logrados entre las 21:00 del 16 de febrero y las 02:30 del 17 de febrero. Se observan oscilaciones que prácticamente permanecen con una tendencia constante de una media cercana a los 1100 A hasta las 23:45 del 16 de febrero, momento en el que de forma repentina los valores de ampacidad sufren un descenso notable, hasta permanecer oscilando constantemente alrededor del valor de corriente estática.

Los grandes cambios en temperatura ambiente y radiación solar se descartan, ya que resultan complicados en un periodo tan corto. Se podría asociar este tipo de bajada brusca al momento en el que el viento se atenúa tras impactar fuertemente a la línea o a una tregua tras un periodo de precipitaciones abundantes. Se observa que en media hora aproximadamente la situación se calma totalmente, por lo que es probable que se trate del final de una fuerte tormenta.

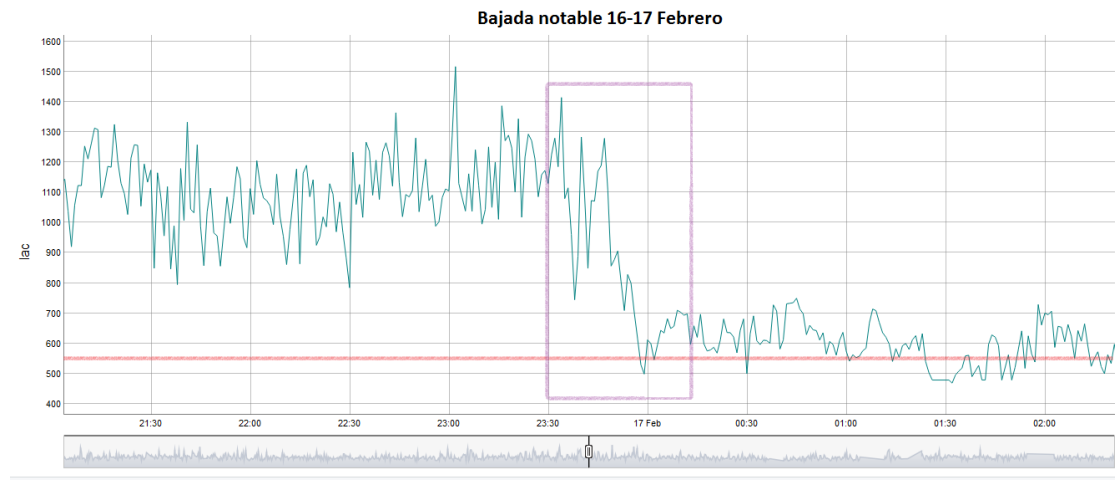


Figura 34: Gráfico de ampacidad bajada brusca 16-17 Febrero de 2014. Fuente: Elaboración propia

2.2.1.2 Verano 2014

A diferencia de los resultados obtenidos en invierno, en los que abundan los valores altos de ampacidad y la tendencia varía constantemente, se observa en la Figura 35 que el verano de 2014 es la estación de menor beneficio respecto de la ampacidad estática (80.21 A/min). En esta primera parte del estudio, que recoge 11 estaciones divididas en 4 años, resulta llamativo que el beneficio posible máximo y mínimo ocurren el mismo año, por lo que, se decide analizar el contraste obtenido en los meses de Julio, Agosto y Septiembre.

La Figura 35 muestra los resultados de ampacidad obtenidos en el verano de 2014. Por un lado, se muestran los valores de ampacidad dinámica logrados, y por otro, representado en forma de línea roja, el valor de corriente estática.

Se observa un agujero de datos en el mes de agosto, que corresponde a un largo periodo de tiempo para el que no se han logrado valores de ampacidad. Se trata de fallo en el sensor "Windsonic", cuyo objetivo es monitorizar la velocidad y dirección del viento que impacta en el conductor. No existen valores obtenidos por el sensor desde las 6:20 del 8 de Agosto, hasta las 4:08 del 21 de Agosto.

El beneficio posible máximo se obtiene de una resta entre el valor medio de ampacidad dinámica y el valor de ampacidad estática. Dado que el verano de 2014 es la estación de menor beneficio máximo de las estudiadas, podría relacionarse con el fallo del sensor, ya que pueden haberse perdido valores de ampacidad que subieran la media. Lo cierto es, que tratándose del mes de Agosto, y por lo tanto, del ecuador del verano, se asume que los valores perdidos coinciden con la tendencia de los días anteriores y posteriores, en los que debido al sol, las altas temperaturas y el poco viento, se obtienen los valores más bajos de ampacidad. Lo más probable de haber contado con los datos es, que provocaran un valor medio menor, y por lo tanto un beneficio máximo menor, por lo que el contraste en el análisis sería mayor. En el

caso de un agujero originado en los días cercanos a otras estaciones, el análisis se dificulta y los resultados podrían ser alterados notablemente, ya que en estas situaciones los valores de ampacidad son menos predecibles.

Se decide para un estudio completo de la ampacidad en el verano de 2014, analizar las siguientes situaciones:

- Subida 9-17 Julio (Verde)
- Bajada 1-8 Agosto (Rojo)

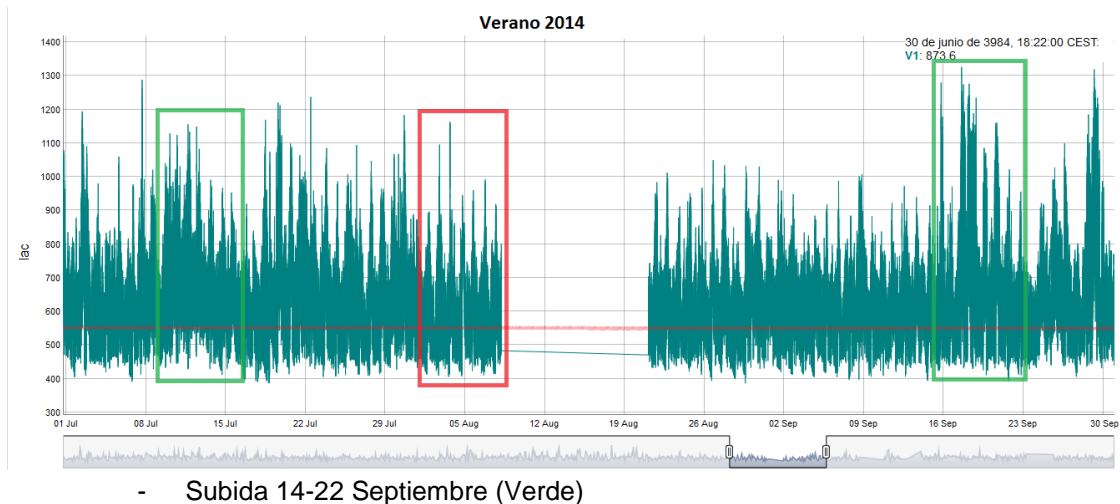


Figura 35: Gráfico de ampacidad Verano de 2014. Fuente: Elaboración propia

Subida 9-17 Julio

Finalizada una estación como la primavera, en la que los cambios medioambientales son protagonistas, resulta comprensible que el verano comience con altas oscilaciones y una tendencia no muy clara, ya que se combinan situaciones de condiciones meteorológicas diferentes en periodos de tiempo relativamente cortos. Durante prácticamente todo el mes de Julio el valor de ampacidad dinámica varía de forma impredecible.

La Figura36 muestra el tramo seleccionado para el análisis del comienzo del verano, que coincide con la subida más clara y continuada de todo el mes de Julio.

Se representa el valor de corriente estática en forma de línea roja, para facilitar el análisis de comparación con la ampacidad dinámica en cada instante.

Los resultados obtenidos muestran una mayoría de valores de ampacidad dinámica logrados por encima de la estática, dando pie a un beneficio notable. La abundancia de datos obtenidos no permite una comprensión y observación clara, y dado que este apartado trata de

analizar una situación de verano con comportamiento cercano a una situación primaveral, se decide analizar más profundamente el tramo en el que se obtienen valores de ampacidad dinámica más altos, que coincide con los días 11 y 12 de Julio. Se observa en la figura, que sobre todo, en el tramo del 10 al 14 de Julio los valores de ampacidad dinámica superan a los de corriente estática.

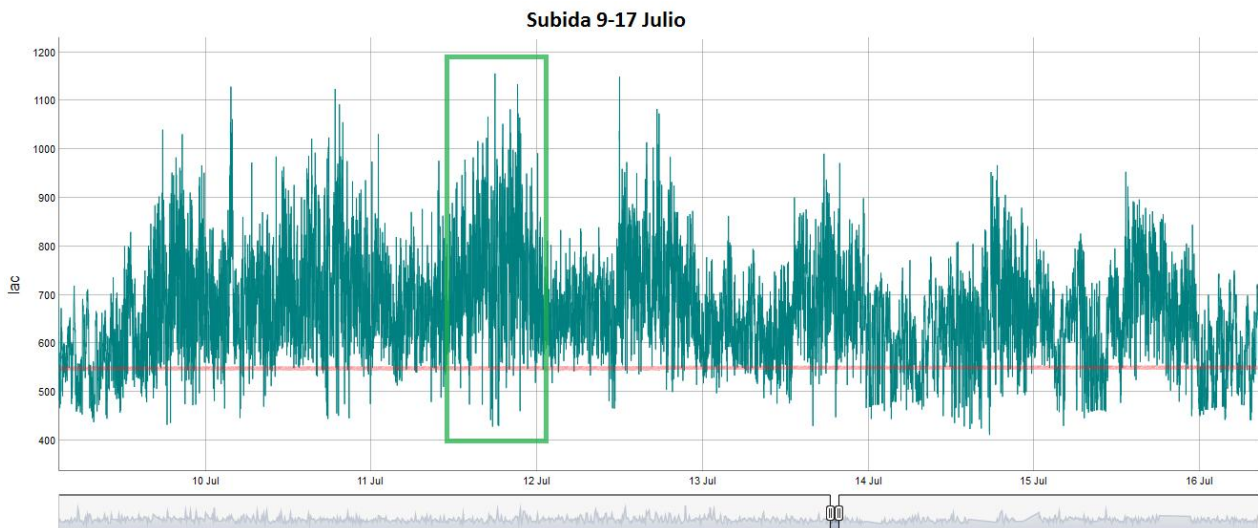


Figura 36: Gráfico de ampacidad subida 9-17 Julio de 2014. Fuente: Elaboración propia

Se observa en la Figura37 que el tramo seleccionado para un análisis más profundo, se compone de los datos de ampacidad dinámica logrados entre las 13:00 del 11 y la 1:00 del 12 de Agosto. Pese a que el estudio se realiza minuto a minuto, la figura muestra de forma clara que prácticamente en todos los minutos del tramo se encuentran valores por encima del valor de corriente estática, y por lo tanto, ofrecen un beneficio en la capacidad de transporte de la línea.

El mayor pico marcado en la imagen coincide con el valor de ampacidad dinámica más alto alcanzado en el tramo del 9 al 17 de Julio. Se trata de un valor de 1156.45 A obtenido a las 18:02 del 11 de Julio.

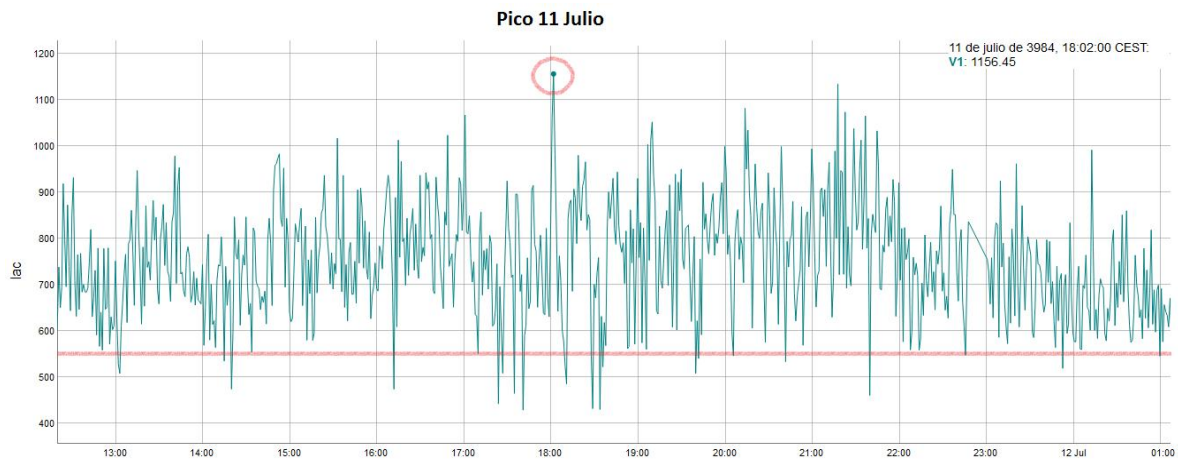


Figura 37: Pico más alto 11 Julio de 2014. Fuente: Elaboración propia

A diferencia del invierno, en el que se alcanzan en numerosas ocasiones valores de 1600 a 1800 amperios, en el caso del verano, los picos no superan los 1300 A.

Bajada 1-8 Agosto

Una vez terminada la transición de la primavera al verano, el viento pierde protagonismo, provocando un efecto menor de la convección. Dado que el alcance de las pérdidas por radiación y ganancias por radiación solar es bajo, y el rango de valores en los que oscilan es pequeño, a medida que el viento pierde importancia, los valores de ampacidad dinámica se mantienen más constantes. El viento es el valor que altera en mayor medida la ampacidad, por lo que se decide analizar un tramo en pleno agosto, asumiendo que es el mes menos afectado por este factor meteorológico.

Se muestran en la Figura38 los valores de ampacidad alcanzados entre el 1 y 8 de Agosto. Se observa que en términos de beneficio posible en la capacidad de transporte, el tramo es el menos interesante de los analizados hasta el momento. Exceptuando alguno de los puntos, la mayoría de valores oscilan por encima y debajo de la línea que representa el valor de corriente estática, sin existir una gran diferencia entre ellos, de forma que la tendencia del tramo podría ser prácticamente lineal y constante.

Existen únicamente dos valores que superan los 1000 A en el tramo, un número significativamente bajo en comparación con situaciones anteriormente descritas. Por otro lado, la cantidad de valores de ampacidad dinámica menores que la estática abundan en este caso.

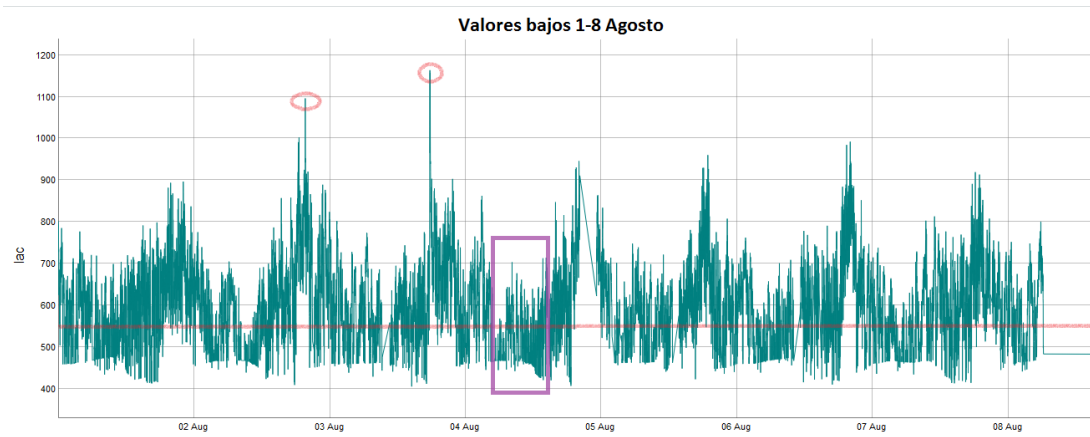


Figura 38: Gráfico de ampacidad bajada 1-8 Agosto de 2014. Fuente: Elaboración propia

Al igual que en invierno se analiza la situación más drástica, en el caso del verano se hace de la misma forma. Se decide estudiar los valores de ampacidad dinámica el 4 de Agosto, que a simple vista coinciden con los menores logrados en el tramo.

La Figura39 muestra el análisis más profundo llevado a cabo con los resultados obtenidos el 4 de Agosto, desde las 4:30 hasta las 14:00.

Se observa una mayoría de datos por debajo de la línea que representa la corriente estática, de lo que se deduce que en el caso de este tramo no se obtendría beneficio en la capacidad de transporte de la línea mediante la utilización de un sistema de monitorización. En este caso un abastecimiento constante podría ser más interesante. Puede parecer difícil de comprender que en sistemas de abastecimiento constante existan situaciones en las que fluye mayor corriente que el valor de ampacidad. La lógica lleva a pensar que el conductor se vería obligado a alcanzar valores de temperatura mayores que el admisible, pero un aumento de la flecha del conductor es el resultante en este tipo de situaciones, por lo que el conductor no sufriría en exceso.

En la imagen se observa cómo hasta la salida del sol, aproximadamente a las 07:30, los valores de ampacidad son muy pequeños. Las razones son las siguientes:

- Las ganancias por radiación solar hasta esa hora son prácticamente nulas.
- Las pérdidas por radiación no alcanzan valores altos, ya que hasta la hora las temperaturas oscilan entre los 13 y 15 °C.
- Las pérdidas por convección son pequeñas, ya que la velocidad del viento es baja.

A partir de la salida del sol es cuando los resultados comienzan a variar notablemente, debido al aumento de temperatura y radiación solar.

En casos en los que no se alcanzan valores muy elevados de pérdidas y ganancias de calor, el ángulo de dirección del viento que impacta la línea cobra mayor importancia. En la Tabla2 mostrada en el cálculo de convección forzada, se observa la diferencia del procedimiento cuando se trata de ángulos mayores o menores a los 24°. Si se suponen dos situaciones diferentes, en las que coinciden la temperatura ambiente, la radiación solar y la velocidad del viento, se concluye de la expresión [21] que el ángulo es el que provoca la diferencia en el resultado de las pérdidas, que puede ser notable en algunos casos.

El pico más alto en el tramo coincide con un valor cercano a los 700 A.

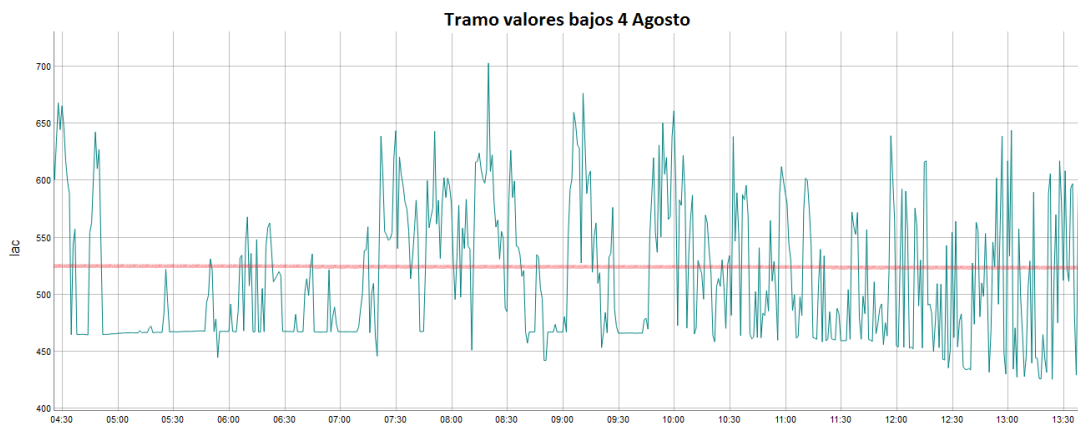


Figura 39: Valores más bajos 4 Agosto de 2014. Fuente: Elaboración propia

Subida 14-22 Septiembre

Para completar el análisis del verano, se procede a estudiar un tramo próximo al otoño. De nuevo coincide que en la transición de una estación a otra las oscilaciones aumentan su tamaño, alcanzando valores de amplitud mayores. Se decide analizar por lo tanto, la primera subida a finales de verano.

La Figura40 muestra los resultados de amplitud obtenidos entre los días 14 y 22 de Septiembre. La numerosa cantidad de datos complica la comprensión de los resultados, pero en la figura se muestran de forma clara las diferentes tendencias a lo largo del tramo.

No resulta demasiado llamativo comenzar la etapa con una tendencia prácticamente lineal y constante como la analizada en el mes de Agosto, ya que los valores varían en un rango de valores cercanos al de corriente estática.

El 16 de Septiembre se disparan los valores de amplitud en dos ocasiones diferentes, dando lugar a un posible aviso de lo que puede suceder posteriormente. Tras los altos valores obtenidos, vuelve a mantenerse una tendencia lineal y constante.

Es a partir del día 17, cuando los valores vuelven a dispararse y comienzan a oscilar de forma notable, alcanzando los resultados de ampacidad más altos del verano. Se resume en que el viento vuelve a cobrar importancia, aumentando las pérdidas por convección y provocando subidas en los valores de ampacidad alcanzados.

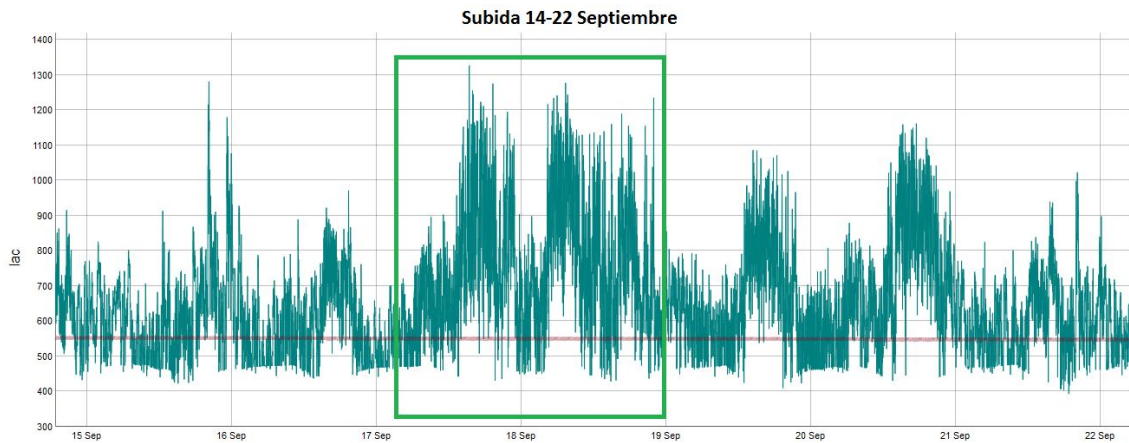


Figura 40: Gráfico de ampacidad subida 14-22 Septiembre de 2014. Fuente: Elaboración propia

En los próximos días se observa una serie de cambios bruscos, por lo que se decide analizar más profundamente el comportamiento de la línea.

La Figura41 muestra los resultados obtenidos entre las 6:00 del 17 y las 23:00 del 18 de Septiembre. El número de datos se ha reducido, provocando una comprensión más sencilla de la situación.

Se visualiza una gran diferencia entre los tramos mostrados en la figura. El día comienza con valores de ampacidad relativamente bajos, que vienen seguidos de una notable subida y posterior bajada al final del mismo. Se divide en el análisis por un lado, la subida, y por otro, la bajada.

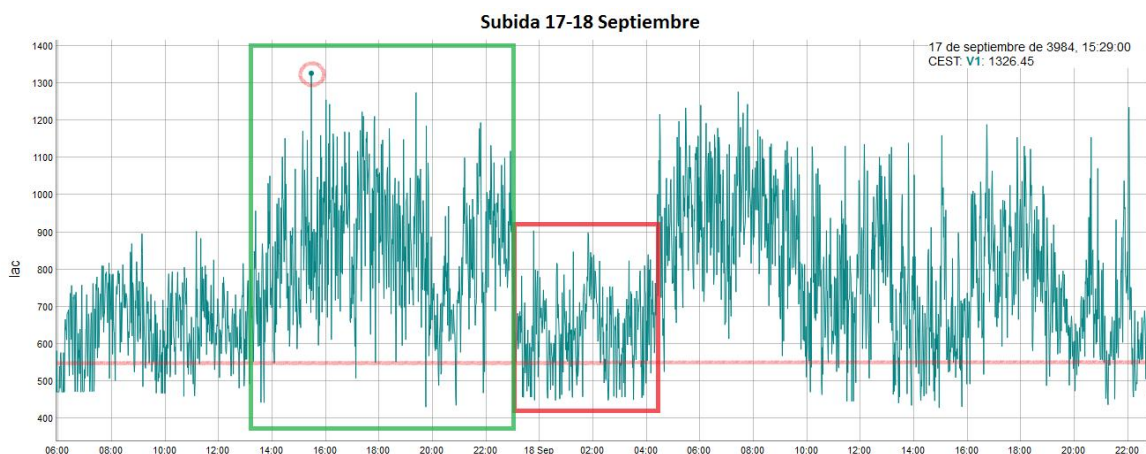


Figura 41: Gráfico de ampacidad subida 17-18 Septiembre de 2014. Fuente: Elaboración propia

En primer lugar se analiza la subida del día 17, como muestra la Figura42. Aproximadamente a la 13:00 del mediodía comienza a producirse una subida de datos continuada. Es cierto que existen valores que vienen seguidos de otros más pequeños, pero la tendencia general es de subida, hasta aproximadamente las 18:00, momento en el que cambia y comienzan a obtenerse resultados de ampacidad menores.

En la subida se resalta el pico más alto, que corresponde a las 15:29 del 17 de Septiembre, en el que se obtiene un resultado de 1326.45 A, siendo éste el mayor valor alcanzado en todo el verano. Para una mayor comprensión de la situación, se decide acudir a la “*MatrizEnteraCorregida*”, en la que pueden observarse las condiciones meteorológicas del instante en concreto.

La Figura43 muestra parte de la matriz conjunta en el tramo seleccionado. Resulta llamativa la repentina subida de los valores de radiación solar (586.020 W/m^2) y velocidad del viento (12.907 m/s). En comparación con datos anteriores y posteriores, se trata de un cambio importante.

Mediante las expresiones [7] y [18] se obtienen:

- Pérdidas por convección = 522.625 W/m
- Ganancias por radiación solar = 4.626 W/m

Se deduce por lo tanto, que la incidencia del viento en el resultado de ampacidad es mucho mayor que la de radiación solar.

De esta forma se concluye como un periodo de tiempo en el que el viento cobra grandes velocidades y azota la línea constantemente.

De hacerse uso de un sistema de monitorización, podría obtenerse en este tramo un gran beneficio en la capacidad de transporte de la línea, dado que la mayoría de datos se encuentran por encima de la línea que representa la corriente estática.

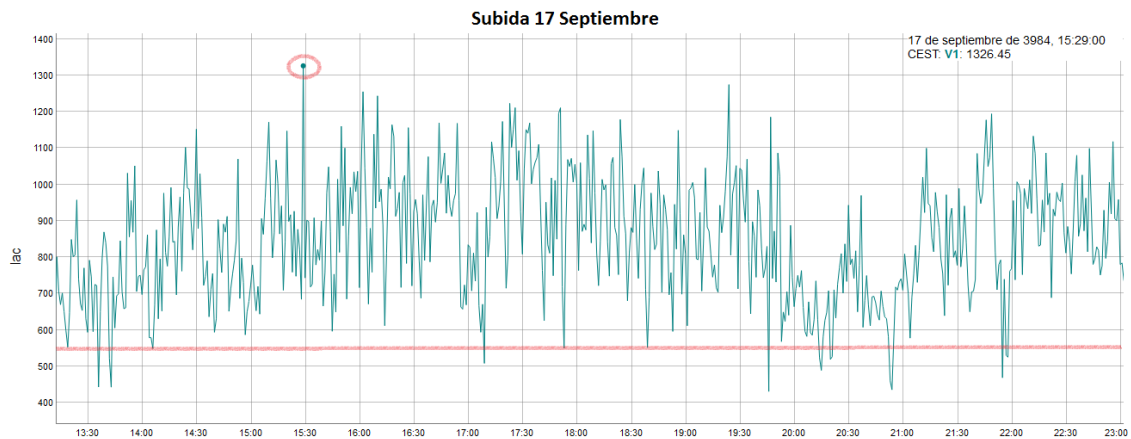


Figura 42: Pico 17 Septiembre de 2014. Fuente: Elaboración propia

	Date	Tamb	RadSolar	VelocidadV	DirecciónV
986376	3984-09-17 15:18:00	22.931	146.074	2.127	49.930
986377	3984-09-17 15:19:00	22.959	147.305	4.600	39.320
986378	3984-09-17 15:19:59	22.848	149.151	10.387	39.984
986379	3984-09-17 15:21:00	22.738	153.458	5.541	38.323
986380	3984-09-17 15:22:00	22.765	155.304	6.372	31.678
986381	3984-09-17 15:23:00	22.682	162.072	7.415	1.884
986382	3984-09-17 15:24:00	22.682	170.071	5.108	55.712
986383	3984-09-17 15:25:00	22.793	159.611	3.031	43.307
986384	3984-09-17 15:26:00	22.904	153.458	4.655	49.177
986385	3984-09-17 15:27:00	22.987	180.532	5.468	23.039
986386	3984-09-17 15:28:00	23.042	209.451	2.994	25.475
986387	3984-09-17 15:29:00	23.264	586.020	12.907	60.253
986388	3984-09-17 15:30:00	23.291	181.762	6.824	3.210

Figura 43: Matriz conjunta valores cercanos al pico del 17 Septiembre de 2014. Fuente: Elaboración propia

Tras la subida analizada, se observa en la Figura44 la situación inmediatamente posterior. En este caso, el tramo seleccionado comienza a las 23:00 del 17 y finaliza a las 4:30 del 18 de Septiembre.

La importante subida descrita anteriormente culmina con una calma prolongada durante varias horas, que coincide plenamente con el horario nocturno. Los resultados de ampacidad obtenidos oscilan cercanos al valor de corriente estática, y únicamente se observan dos instantes en los que la ampacidad alcanza los 900 A.

El viento vuelve a ser clave en este caso. La noche provoca un descenso en la temperatura ambiente y, por supuesto, radiación solar, pero como se analiza anteriormente, el valor de las pérdidas por convección es el que mayor incidencia tiene en el resultado de ampacidad. Variaciones entre temperaturas bajas suceden a lo largo de la noche, por lo que las pérdidas por convección son pequeñas, y por consiguiente, la ampacidad también.

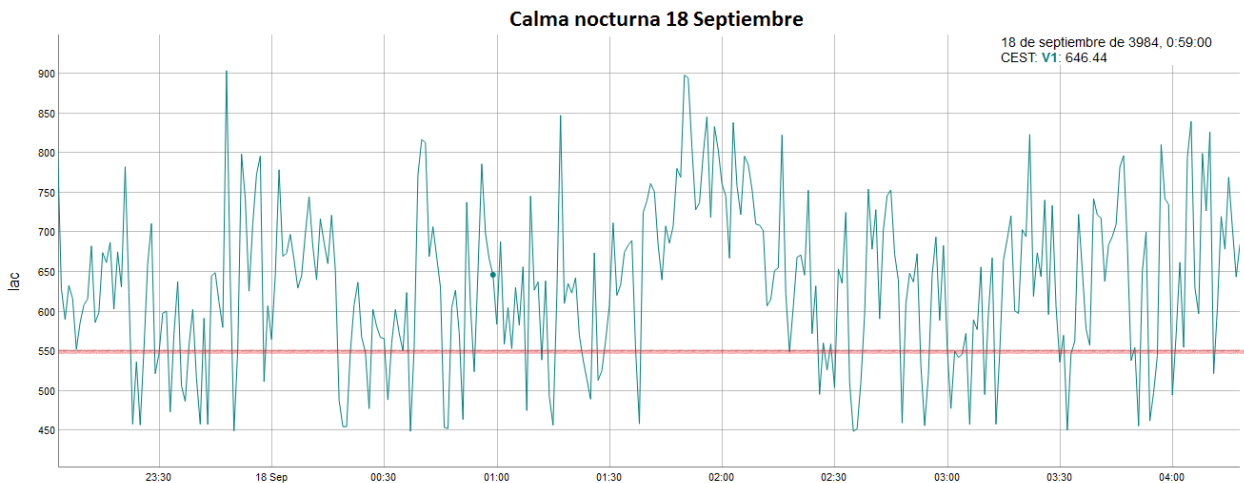


Figura 44: Gráfico de ampacidad calma nocturna 18 Septiembre de 2014. Fuente: Elaboración propia

2.2.2. Análisis ampacidad 2015-2018

Hasta el momento, únicamente se ha llevado a cabo una comparación de resultados de ampacidad y valor de corriente definida estáticamente, basada en la monitorización de datos mediante la combinación de sensores tipo “Progress” y “Windsonic”.

Para el análisis de la capacidad de transporte de la línea en los años 2015-2018 se añaden los datos meteorológicos obtenidos mediante sensores tipo “Herter”. Se trata de sensores que monitorizan los datos de temperatura ambiente y radiación solar, dejando el sensor tipo “Windsonic” como único medidor de los factores del viento. La inversión resulta más cara, y trabaja con mayor precisión. Las características y ventajas de este tipo de sensores se muestran en la ficha técnica del ANEXO III.

El comportamiento de la capacidad de transmisión de la línea queda prácticamente determinado, ya que los resultados obtenidos en las mismas estaciones de diferentes años se asemejan. El objetivo del análisis de este nuevo periodo del tiempo es el de comparar el beneficio posible a obtener entre los diferentes sensores.

El procedimiento se repite de la misma forma que en el apartado anterior, variando únicamente en pequeños aspectos.

La Figura45 muestra el programa mediante el cual van a dibujarse los resultados de ampacidad obtenidos mediante la monitorización de los diferentes sensores.

El gráfico se crea de la misma forma, haciendo uso de la sentencia `“ggplot()”` para la matriz `“lac2Tot”`, que en este caso se trata de la ampacidad obtenida mediante el sensor “Progress”, en este segundo periodo del estudio. A diferencia del caso anterior, debe añadirse una nueva sentencia del tipo `“geom_line()”` para dibujar en el mismo gráfico los resultados de ampacidad obtenidos mediante el sensor “Herter”, recogidos en una matriz denominada como `“lach”`. Se añade además, todo tipo de modificaciones estéticas que el usuario quiera. En este caso se asigna un color azul a los resultados correspondientes al sensor “Progress”, y un color rojo a los resultados correspondientes al sensor “Herter”. Por otro lado, se asigna al gráfico el título de `“Progress Vs Herter”`.

El siguiente paso trata de crear las series de tiempo partiendo de las matrices de ampacidad. Se desea dibujar la ampacidad en función del tiempo, por lo que es necesario que las columnas de las diferentes matrices de ampacidad tengan el mismo nombre. De no ser así, el programa únicamente dibujará una de ellas.

En un elemento llamado `“Ampacidad”`, se almacenan las dos series de tiempo creadas, utilizando la sentencia `“cbind()”` para construcción de matrices columna a columna.

Por último, de la misma forma que en el apartado anterior se utiliza la sentencia `“dygraph()”`, en este caso con el elemento `“Ampacidad”`. Vuelven a asignarse el título y los colores, y se hace uso de la sentencia `“dyRangeselector()”` para permitir el movimiento en el gráfico.

```

1 ggplot(Iac2Tot, aes(Date, Iac2)) + geom_line(aes(color="Iac2Tot")) +
2   geom_line(data=Iach, aes(color="Iach")) +
3   labs(color="Legend") +
4   scale_colour_manual("", breaks=c("Iac2Tot", "Iach"), values=c("blue", "red"))
5   ggtitle("Progress Vs Herter")
6
7 Iac2Tot_xts<-xts(Iac2Tot$Iac2, order.by=Iac2Tot$Date)
8 Iach_xts<-xts(Iach$Iac2, order.by=Iach$Date)
9
10 Ampacidad<-cbind(Iac2Tot_xts, Iach_xts)
11
12 dygraph(Ampacidad, ylab="Iac2", main="Progress Vs Herter")%>%
13   dyOptions(colors=c("blue", "red"))%>%
14   dyRangeSelector()

```

Figura 45: Programa graficar ampacidad para sensores "Herter" y "Progress". Fuente: Elaboración propia

De nuevo se desea reducir la dimensión de las matrices de ampacidad, dividiéndolas por estaciones. Se crean para ello los siguientes elementos:

- "Iac2Otono2015" y "IachOtono2015": octubre, noviembre y diciembre de 2015.
- "Iac2Invierno2016" y "IachInvierno2016": enero, febrero y marzo de 2016.
- "Iac2Primavera2016" y "IachPrimavera2016": abril, mayo y junio de 2016.
- "Iac2Verano2016" y "IachVerano2016": julio, agosto y septiembre de 2016.
- "Iac2Otono2016" y "IachOtono2016": octubre, noviembre y diciembre de 2016.
- "Iac2Invierno2017" y "IachInvierno2017": enero, febrero y marzo de 2017.
- "Iac2Primavera2017" y "IachPrimavera2017": abril, mayo y junio de 2017.
- "Iac2Verano2017" y "IachVerano2017": julio, agosto y septiembre de 2017.
- "Iac2Otono2017" y "IachOtono2017": octubre, noviembre y diciembre de 2017.

Una vez divididas las matrices de ampacidad por estaciones, se calcula el beneficio de capacidad de transporte máximo a obtener siguiendo el procedimiento de la Figura 25. El resultado se obtiene de una resta entre el valor medio de ampacidad y el valor de corriente estático, dividido por la cantidad de minutos estudiados en la estación.

En la Figura 46 se muestran los resultados obtenidos para ambos sensores.

Se observa que el resultado de beneficio máximo a obtener es similar en la mayoría de los casos, con la interesante apreciación de que la ampacidad lograda partiendo de datos monitorizados por sensores "Herter" siempre supera a los de los sensores "Progress".

La mayor diferencia se encuentra en la estación de otoño del 2016, en el que la ampacidad lograda partiendo de datos obtenidos de sensores "Herter" supera notablemente a los de "Progress". Se decide por tanto, analizar la estación profundamente.

Para el resto de estaciones se asume un comportamiento igual de los sensores, ya que la diferencia en término de beneficio es mínima.

Por otro lado, cabe destacar una apreciación en el beneficio máximo a obtener la primavera de 2016. El valor es el menor de todas las primaveras analizadas en el estudio. El resultado se debe a que el sensor de viento del tipo “Windsonic” vuelve a fallar, en este caso, entre los días 1 de Abril y 14 de Mayo. Es éste el periodo de tiempo más próximo al invierno, por lo que las condiciones meteorológicas son más desfavorables en esta primera parte de la primavera. Se supone en el estudio que se pierde un tramo de valores de ampacidad altos, y que por lo tanto la media se calcula de los valores pertenecientes a la segunda parte de la primavera. Éstos últimos, más cercanos al verano, ofrecen resultados de ampacidad menores habitualmente.

	Date	Progress(A/min)	Herter(A/min)
1	2015 Otoño	143.003	144.72
2	2016 Invierno	155.215	156.218
3	2016 Primavera	101.218 *	103.813 *
4	2016 Verano	94.042	94.852
5	2016 Otoño	108.259	122.623
6	2017 Invierno	177.356	178.433
7	2017 Primavera	116.557	118.725
8	2017 Verano	100.247	101.524
9	2017 Otoño	132.349	133.601

Figura 46: Resultados de beneficio en A/min por estaciones 2015-2018. Fuente: Elaboración propia

El estudio se lleva a cabo minuto a minuto entre los años 2015 y 2018. Los resultados de ampacidad se muestran en el gráfico de la Figura47, que debido a la inmensa cantidad de datos utilizados, los resultados obtenidos por un sensor se solapan con los del otro, no permitiendo su apreciación prácticamente en todo el tramo.

Únicamente puede visualizarse una notable diferencia en el otoño de 2016, en el que se aprecian claramente el color azul y el rojo. La ampacidad lograda mediante el uso de sensores “Herter” supera la de los sensores “Progress”, y dado que en el resto de estaciones prácticamente se alcanzan los mismos resultados, se decide profundizar en el estudio de dicha estación.

Es cierto que, aparte del otoño de 2016, a simple vista se observan situaciones en las que la diferencia es llamativa, como se marca en la imagen, pero no se procede al análisis en ellas, ya que el beneficio máximo obtenible no varía demasiado.

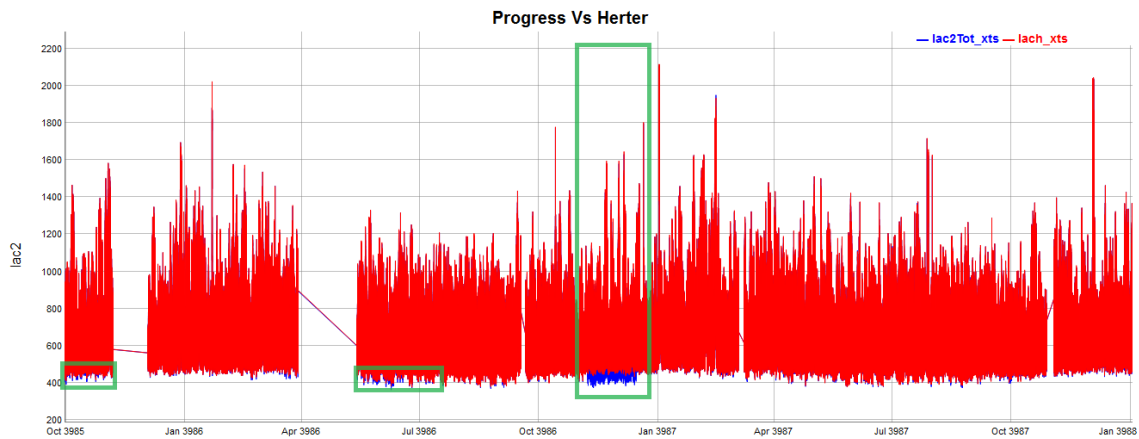


Figura 47: Gráfico comparación ampacidad "Progress" vs "Herter". Fuente: Elaboración propia

Previamente al análisis de estación, se calculan las medias de temperatura ambiente y radiación solar obtenidas por cada sensor:

- Herter: Temperatura ambiente media = 11.59°C
- Herter: Radiación solar media = 133.9618 W/m²
- Progress: Temperatura ambiente media = 12.13°C
- Progress: Radiación solar media = 173.5551 W/m²

2.2.2.1 Otoño 2016

Se realiza una ampliación en el tramo seleccionado para el estudio, de la forma mostrada en la Figura48. La diferenciación entre resultados obtenidos sigue sin apreciarse con claridad, ya que a pesar de la reducción de datos de 3 años a 3 meses, el número de resultados continúa siendo elevado.

El objetivo de alcanzar mayor capacidad de transporte en la línea se mantiene intacto, por lo que se representa el valor de corriente estática para facilitar la comparación.

Se observa un punto de inflexión alrededor del 9 de Noviembre, momento en el que la tendencia viene siendo pareja para los resultados obtenidos partiendo de los datos de diferentes sensores, y repentinamente se produce una brecha entre ellos. A partir de este instante se provoca la superioridad de resultados de ampacidad con "Herter", que a simple vista parece mantenerse hasta el 16 de Noviembre, cuando vuelven a solaparse las curvas, obteniendo resultados similares.

Se descarta por tanto el análisis del comienzo del otoño, correspondiente al tramo del 1 de Octubre al 8 de Noviembre, y el del final, correspondiente al tramo del 16 de Diciembre al 31.

En la Figura48 se marcan las situaciones a estudiar:

- Bajada 24-26 Noviembre
- Subida 5-6 Diciembre

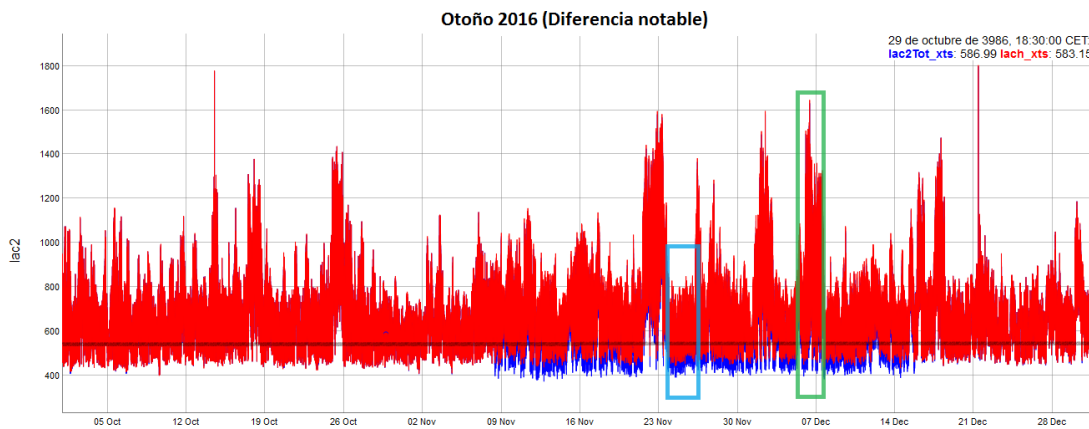


Figura 48: Gráfico comparación ampacidad Otoño de 2014. Fuente: Elaboración propia

Antes de profundizar el análisis, se calcula de nuevo la media de temperatura ambiente y radiación solar, en este caso, únicamente teniendo en cuenta los datos de la estación.

- Herter: Temperatura ambiente media = 9.03°C
- Herter: Radiación solar media = 73.39771 W/m²
- Progress: Temperatura ambiente media = 9.35°C
- Progress: Radiación solar media = 726.8103 W/m²

Se observa una gran diferencia en la media de radiación solar, llamando la atención notablemente la obtenida por sensor “Progress”.

Bajada 24-26 noviembre

El Otoño se particulariza por numerosas subidas y bajadas, provocadas por el impacto del viento. La conclusión de anteriores apartados en la que el factor viento se ha considerado crucial, resulta insignificante en el análisis de comparación de sensores, ya que únicamente monitorizan temperatura ambiente y radiación solar, y coinciden en velocidad y dirección del viento.

Se observa en la Figura49, que en tramos en los que se alcanzan valores de ampacidad relativamente bajos, en este caso, menores a 900 A, la diferencia entre sensores es notable, manteniéndose alrededor de 50 A en la mayoría de casos.

Se deduce que para este tipo de situaciones los sensores “Herter” resultan más interesantes. Los valores mínimos alcanzados se mantienen cercanos al valor de corriente estática, y por otro lado, se alcanzan valores mayores por encima del mismo. La diferencia

continuada entre ambos sensores resulta llamativa y genera dudas. Se decide por tanto, comparar los valores de temperatura ambiente y radiación solar obtenidos.

La diferencia mantenida continuadamente resulta llamativa, por lo que se decide analizar con mayor profundidad el tramo en el que se obtiene el pico más bajo entre los días seleccionados.

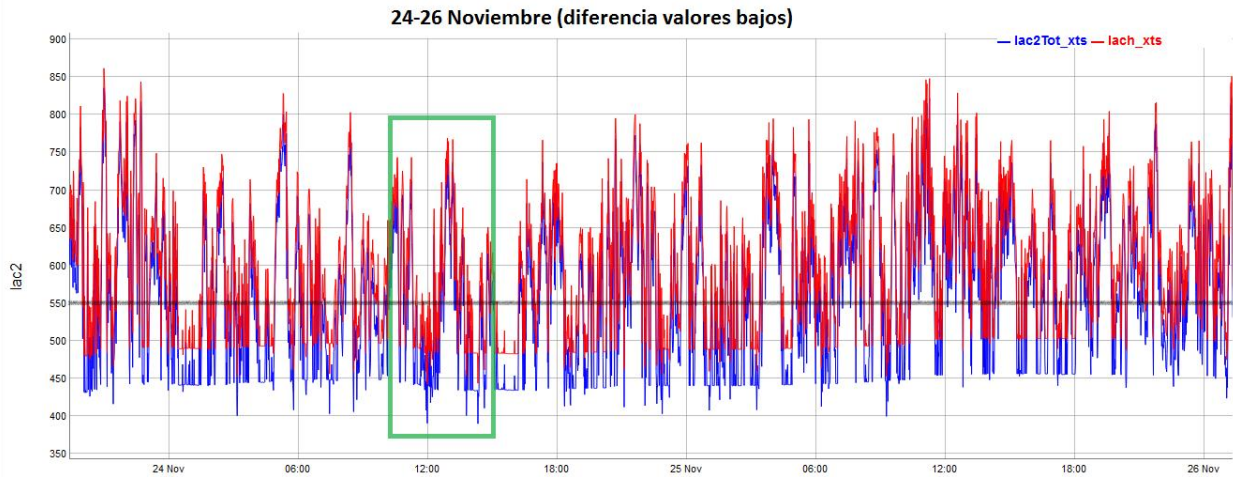


Figura 49: Gráfico comparación amplitud valores bajos 24-26 Noviembre de 2016. Fuente: Elaboración propia

Se escoge un tramo cercano a las 12:00 del 24 de Noviembre y se realiza la ampliación mostrada en la Figura50. La cantidad de resultados se ha reducido totalmente, con el objetivo de observarlos con mayor precisión.

Se observa de nuevo, la diferencia mantenida en el periodo, que disminuye en los valores más altos, pero, cobra mayor importancia en los más bajos. Se procede por tanto a analizar la situación más drástica, el pico más bajo.

A las 11:59 del 24 de Noviembre se obtienen los resultados correspondientes al pico menor:

- Sensor "Progress": 390.58 A
- Sensor "Herter": 442.86 A

La diferencia es de 52.28 A en favor del sensor "Herter".

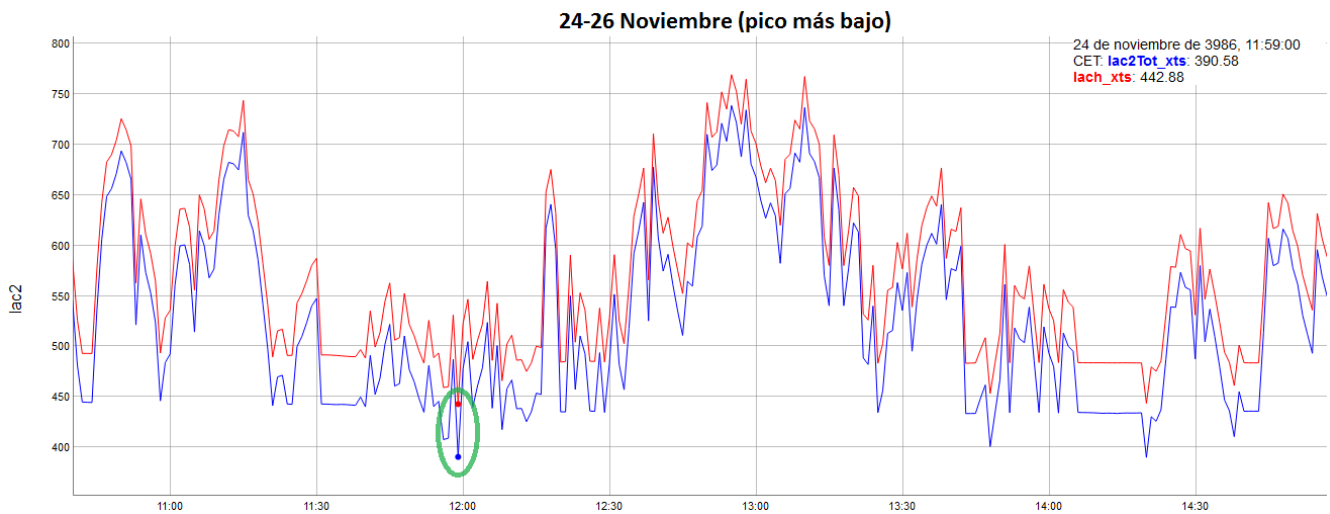


Figura 50: Pico más bajo comparación ampacidad 24 Noviembre de 2016. Fuente: Elaboración propia

Debido a que únicamente obtienen datos de temperatura ambiente y radiación solar, a priori, resulta incongruente poder alcanzar esta diferencia. Se decide analizar lo sucedido para una mayor comprensión de la situación.

Se construye una matriz compuesta de los valores de temperatura ambiente radiación solar obtenidos por cada sensor, y el tiempo al que corresponden. La Figura51 muestra parte de ella, coincidiendo con los valores cercanos al pico más bajo. Además, se hace uso de las medias de temperatura ambiente y radiación solar anteriormente calculadas.

Se observa una diferencia mínima de aproximadamente 1°C en la temperatura ambiente, por lo que las pérdidas por convección y radiación alcanzan valores muy similares. Por otro lado, la diferencia en la radiación solar es muy llamativa, ya que la obtenida por sensor "Progress" supera a la de "Herter" en exceso. Éste es por tanto el detonante de la diferencia obtenida.

El estudio se remonta a horas anteriores en el mismo día, concretamente a los minutos cercanos a las 7:30, como se muestra en la Figura52. La luz solar es mínima en este instante, por lo que la radiación solar debería ser nula, o prácticamente nula. El sensor "Herter" ratifica la teoría, pero no lo hace por contrario, el sensor "Progress". Resultados de radiación solar sumamente altos se obtienen también en tramos nocturnos, por lo que se deduce que el sensor sufre una avería y los datos ofrecidos pierden credibilidad.

Date	TambP	Tambh	RadSolP	RadSolh	
491178	3986-11-24 11:50:59	5.518	4.737	1742.8	91.927
491179	3986-11-24 11:52:00	5.629	4.774	1744.0	89.466
491180	3986-11-24 11:53:00	5.657	4.811	1742.2	87.620
491181	3986-11-24 11:54:00	5.629	4.811	1742.2	86.389
491182	3986-11-24 11:55:00	5.684	4.811	1742.8	84.543
491183	3986-11-24 11:56:00	5.795	4.885	1741.0	82.698
491184	3986-11-24 11:57:00	5.712	4.885	1737.3	85.159
491185	3986-11-24 11:58:00	5.795	4.922	1739.7	98.696
491186	3986-11-24 11:59:00	5.878	4.959	1737.9	117.150
491187	3986-11-24 12:00:00	5.961	4.922	1741.0	124.540
491188	3986-11-24 12:01:00	5.851	4.995	1741.0	130.080
491189	3986-11-24 12:02:00	5.823	4.995	1740.3	133.770

Figura 52: Comparación mañana del 24 Noviembre de 2016 para valores de temperatura ambiente y radiación solar de sensores. Fuente: Elaboración propia

Date	TambP	Tambh	RadSolP	RadSolh	
490918	3986-11-24 07:31:00	2.861	2.855	1758.8	0
490919	3986-11-24 07:32:00	2.944	2.855	1758.8	0
490920	3986-11-24 07:33:00	2.944	2.855	1758.8	0
490921	3986-11-24 07:34:00	2.944	2.891	1758.2	0
490922	3986-11-24 07:34:59	2.916	2.891	1757.6	0
490923	3986-11-24 07:36:00	2.888	2.891	1758.2	0
490924	3986-11-24 07:37:00	2.888	2.891	1759.4	0
490925	3986-11-24 07:38:00	2.916	2.928	1758.8	0
490926	3986-11-24 07:39:00	2.971	2.928	1758.2	0
490927	3986-11-24 07:40:00	3.027	2.965	1758.8	0
490928	3986-11-24 07:41:00	3.110	3.002	1757.6	0
490929	3986-11-24 07:42:00	3.110	3.002	1757.0	0

Figura 51: Comparación nocturna del 24 Noviembre de 2016 para valores de temperatura ambiente y radiación solar de sensores. Fuente: Elaboración propia

En cambio, a medida que la luz solar aumenta, la diferencia entre los valores de radiación solar obtenidos disminuye, y las pérdidas por convección y radiación aumentan a su vez. Esto implica que, para valores altos, el error provocado por el sensor se camufla.

Subida 5-6 Diciembre

Una vez analizada la capacidad de transporte de la línea para resultados de ampacidad bajos, tanto para sensores “Progress”, como “Herter”, se procede al estudio de una subida repentina, provocada en gran medida por fuertes vientos que alcanzan altas velocidades.

La Figura53 muestra que la subida más llamativa ocurre el 6 de Diciembre, momento en el que la tendencia comienza a ser ascendente, hasta alcanzar el pico más alto. A partir de ahí, los resultados comienzan a descender, y horas después, vuelve la calma, en la que la ampacidad se mantiene cercana al valor de corriente estática.

Se observa a simple vista, que la apreciación de la diferencia entre sensores no es tan clara en este caso, por lo que se ratifica la conclusión del apartado anterior. El viento cobra gran protagonismo en condiciones meteorológicas desfavorables, por lo que las pérdidas de convección alcanzan valores muy altos para ambos sensores, con la única diferencia de la temperatura ambiente, cuyo impacto es menor que el del factor viento. Esto provoca un efecto menor en pérdidas de radiación y ganancias por radiación solar, de modo que, definitivamente, los valores de ampacidad se acercan en situaciones como esta.

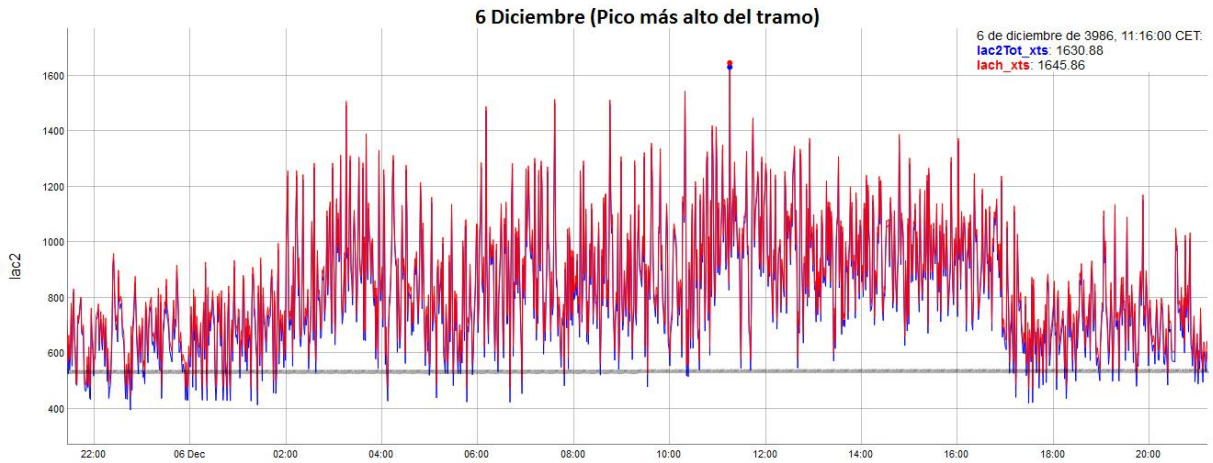


Figura 53: Comparación de ampacidad valores altos 6 Diciembre de 2016. Fuente: Elaboración propia

Para una mayor precisión en el análisis se decide realizar la ampliación en el pico más alto del tramo completo seleccionado, tratándose del mayor valor de ampacidad alcanzado entre el 9 de Noviembre y el 16 de Diciembre.

El tramo se reduce al periodo entre las 10:50 y las 12:00 del 6 de Diciembre, como se muestra en la Figura54.

Se observan únicamente dos valores del tramo por debajo del valor de corriente estática, ambos pertenecientes al sensor “Progress”. En cambio, para resultados pertenecientes al sensor “Herter”, no existe ampacidad menor que el valor de corriente estática en todo el tramo.

Por otro lado, el pico más alto se obtiene a las 11:16, en el que se alcanzan los siguientes resultados de ampacidad:

- Sensor “Progress”: 1630.88 A
- Sensor “Herter”: 1645.86 A

La diferencia es únicamente de 14.98 A, verificando la teoría de radiación solar anteriormente explicada.

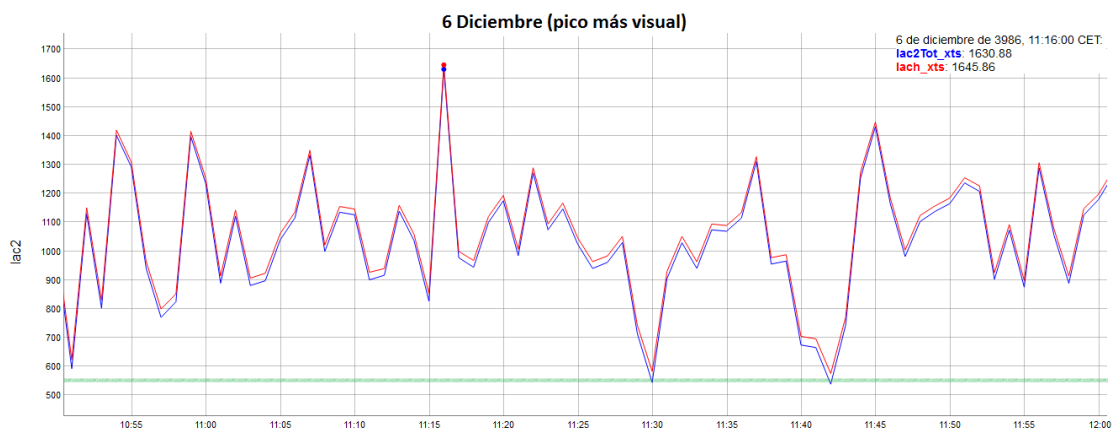


Figura 54: Comparación de ampacidad pico más alto 6 Diciembre de 2016. Fuente: Elaboración propia

2.3 DIAGRAMA DE GANTT

En la siguiente tabla se muestra la planificación para el estudio y los tiempos en los que finalmente se ha llevado a cabo cada actividad.

Actividad	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul
	2018		2019						
Revisión de la documentación existente	Blue								
	Green								
Análisis de alternativas y selección del software	Blue	Blue							
	Green	Green							
Familiarización con software		Blue	Blue						
		Green	Green						
Conversión de datos al software			Blue						
			Green						
Aplicación del método CIGRE para el cálculo de ampacidad en línea				Blue	Blue	Blue			
				Green	Green	Green	Yellow		
Cálculo de ampacidad para limitación estática de la línea						Blue			
						Green			
Análisis comparativo de ampacidad dinámica y estática							Blue	Blue	
							Green	Green	Yellow
Análisis comparativo de ampacidad entre sensores "Progress" y "Herter"							Blue	Blue	
							Green	Green	Yellow

De forma paralela, se analizan las diferencias entre los sensores "Progress" y "Herter" para los resultados de ampacidad alcanzados partiendo de los datos obtenidos por ambos sensores.

En ambos casos, se retrasa la finalización de los procesos, debido a la numerosa cantidad de resultados a manejar. Se analiza con profundidad todo el tramo de tiempo abarcado en el estudio, y se escogen para el estudio las más llamativas.

Por último, se concluye la existencia de una posible mejora en la capacidad en transporte de la línea mediante el uso de sensores de monitorización de datos, y posible aplicación de dispositivos de predicción de datos meteorológicos, que resulta en un mayor aprovechamiento de evacuación de línea. A su vez, se determina cuál de los sensores ofrece mejores posibilidades.

3 ASPECTOS ECONÓMICOS

3.1 DESCRIPCIÓN DEL PRESUPUESTO

En la siguiente tabla se muestran los elementos utilizados en el estudio y el presupuesto parcial y total del mismo.

	Cantidad	Coste unitario €	Coste total €
Material			
Anemómetro ultrasónico	1	2281,6	2281,6
Sensor de radiación "Progress"	1	182,93	182,93
Sensor de temperatura "Progress"	1	280,73	280,73
Sensor de temperatura "Herter"	1	389,3	389,3
Sensor de radiación "Herter"	1	757,5	757,5
Datalogger Nemos	1	458,65	458,65
Panel y Batería	1	140	140
Armario	1	72	72
Amarres anemómetro	1	160	160
Soporte armario	1	225	225
Instalación sensores (contrata)	1	895,67	895,67
Tarjeta SIM del datalogger	6	108/año	648
Personal			
Horas dedicadas por el autor	150	5	750
Horas dedicadas por tutora	20	30	600
Total			7.841,38 €

Tabla 5: Presupuesto asociado al trabajo. Fuente: Elaboración propia.

Para calcular la amortización del ordenador, se ha calculado que el ordenador tiene un valor de 600€ a amortizar en 5 años. El uso del mismo ha sido de 9 meses.

Cabe destacar que los gastos no se han realizado con el fin de llevar a cabo este estudio en concreto, pero, todos los materiales mencionados son necesarios para cumplir el objetivo del mismo. Puede facilitar la comprensión de una aplicación de sistemas de monitorización con el fin de obtener un mayor aprovechamiento en términos de capacidad de transporte de la línea.

4 CONCLUSIONES

Se ha cumplido el objetivo de calcular y analizar la ampacidad en línea mediante la monitorización en tiempo real de datos meteorológicos y la utilización del programa R y su extensión Rstudio. Para ello, ha sido de vital importancia la colocación de sensores en la línea previa al comienzo del estudio.

El análisis de resultados de ampacidad en línea a lo largo de los 6 años en los que el proyecto se basa, proporciona un conocimiento pleno acerca de los límites en la capacidad de transporte de la misma, dado que se ha calculado minuto a minuto, la máxima corriente que la línea puede transmitir.

Por otro lado, se han asumido ciertas condiciones meteorológicas para la comparación con empresas, en este caso Iberdrola, que optan por abastecer a la línea de forma constante durante un periodo de tiempo largo.

Se ha dividido el estudio en dos análisis diferentes.

En el primero de ellos, se ha comparado la ampacidad dinámica, calculada a partir de los datos ofrecidos por los sensores "Progress" (temperatura ambiente y radiación solar) y "Windsonic" (velocidad y dirección del viento) y la ampacidad estática, calculada a partir de las condiciones meteorológicas asumidas.

Completado el análisis de resultados, se concluye que la monitorización en tiempo real y un abastecimiento variante ofrecen un rango de mejora en la capacidad de transporte de la línea de entre el 14% y el 37%. Estos valores corresponden a las estaciones de Verano e Invierno del 2014, en las que la media de resultados de ampacidad ha sido la mayor y menor alcanzada. Aún en la estación más desfavorecida, se dispone de una mejora notable.

El viento es el factor más determinante en el estudio. Por un lado, en la aplicación de un parque eólico conectado a la línea, el viento es el desencadenante de una mayor o menor generación de energía. Por el otro, el enfriamiento que éste provoca en el conductor de la línea resulta en una mayor capacidad en la evacuación de energía. La combinación de ambas permite un mayor aprovechamiento de la energía generada, sin tener que perder parte de ella, como ocurre con el abastecimiento constante de la línea. Esto, además, podría resultar en la necesidad de uso de generación de energía más contaminante.

El segundo de los análisis mantiene el mismo objetivo de analizar y comparar los valores de ampacidad dinámica y corriente estática máxima. Se ha realizado además, un estudio paralelo con el fin de comparar sensores diferentes. Por un lado, se obtiene el resultado de

ampacidad partiendo de los datos ofrecidos por los sensores “Progress” y “Windsonic”, al igual que en el primer análisis. Por el otro, se obtiene el resultado de ampacidad partiendo de datos ofrecidos por sensores “Herter” (temperatura ambiente y radiación solar) y “Windsonic”.

Se concluye una vez realizada la comparación, que tanto una combinación de sensores, como la otra, resultan en una mejora notable en la capacidad de transporte, en este caso de entre un 17% y 33% respecto del abastecimiento constante con la corriente calculada. Estos valores corresponden a las estaciones de Verano de 2016 e Invierno de 2017, en los que se obtiene la media mayor y menor de resultados de ampacidad.

Se ratifica en este segundo análisis la importancia en el aprovechamiento máximo del viento.

A pesar de alcanzar valores de ampacidad similares, existe una notable diferencia entre los alcanzados por las dos combinaciones en una de las estaciones estudiadas. Se trata del Otoño de 2016, en el que la combinación “Herter” y “Windsonic” supera de forma llamativa a la otra. Se ha analizado una avería en el sensor “Progress” como causa que lo provoca.

En definitivas cuentas, resulta muy positivo el uso de monitorización de datos en la línea en términos de evacuación de energía generada por parques eólicos. En concreto, se han analizado dos combinaciones de sensores, de las que se concluye que merece la pena la inversión en la combinación tipo “Herter” y “Windsonic”, pese a resultar más cara.

5 BIBLIOGRAFÍA

- Alvarez, L. (2017). *Dynamic Line Rating State Estimation*. Obtenido de <http://bdigital.unal.edu.co/61156/1/1032387043.2017.pdf>
- Asociación Empresarial Eólica, .. (2019). *La eólica en España*. Recuperado el 3 de Marzo de 2019, de <https://www.aeeolica.org/sobre-la-eolica/la-eolica-espana>
- Atalaya Generación, .. (2017). *Desarrollo de las Energías Renovables en España*. Recuperado el 2 de Febrero de 2019, de <https://www.atalaya.eu/renovables/index.php>
- BBC. (15 de julio de 2019). *Scottish wind power output at record high*. Obtenido de <https://www.bbc.com/news/uk-scotland-scotland-business-48981626>
- Black, Connor, & Colandairaj. (2010). *Planning network reinforcements with Dynamic Line Ratings for overhead transmission lines*. Obtenido de <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/5648853/references#references>
- Black, Connor, Colandairaj, & O'Sullivan. (2010). Obtenido de <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6007159/authors#authors>
- Blackman, A., Morgenstern, R., Murcia, L. M., & Brigard, J. C. (2006). *Review of the efficiency and effectiveness of Colombia's Environmental Policies*. Obtenido de http://www.mamacoca.org/docs_de_base/Legislacion_tematica/rff-rpt-coloepefficiency.pdf
- Blasco Hedro, E. (2013). *Energía Eólica: Incidencia de la Actividad Energética en la Sostenibilidad Ambiental*. Colección Documentos Ciemat.
- Borrás, C. (22 de enero de 2018). *Ecología verde*. Obtenido de <https://www.ecologiaverde.com/en-que-consiste-el-protocolo-de-kioto-413.html>
- Castro, L., Filgueira, A., Seijo, M., Muñoz, E., & Piegiari, L. (2011). *Is it economically possible repowering Wind Farms. A general analysis in Spain*. Obtenido de <http://www.icrepq.com/icrepq'11/603-castro.pdf>
- Consejo Económico y Social España, .. (2017). *EL SECTOR ELÉCTRICO EN ESPAÑA*. Obtenido de <http://www.ces.es/documents/10180/4509980/Inf0417.pdf>

Electricidad, L. r. (2013). *CONECTA y Dynamic Line Rating: un imperativo para optimizar la capacidad de las redes de transmisión*. (G. E. SPA, Editor)

España, C. E. (2017). Obtenido de <http://www.ces.es/documents/10180/4509980/Inf0417.pdf>

Fernandez, E., Albizu, I., Bedialauneta, M., Mazón, A., & Leite, P. (2016). *Review of dynamic line rating systems for wind power integration*. Obtenido de <https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/27456/Fernandez%20RSER%202016.pdf;jsessionid=DA6F9DA6AC32B7D682F561587DD695DA?sequence=1>

Filgueira, A., Seijo, M. A., Muñoz, E., Castro, L., & Piegari, L. (2009). *Technical and economic study of two repowered wind farms in Bustelo and San Xoán, 24.7 MW and 15.84 MW respectively*.

Genin & Garcés, S.L. (2019). *Sistema de Gestión de Energía*. Obtenido de <http://etapesp.es/ems.html>

Grolemund, G. (2016). *R tutorial: Joining data in R with dplyr*. Obtenido de https://www.youtube.com/watch?v=M_mt0vrP_hg&t=6s

Grupo Editorial Editec SPA. (4 de julio de 2016). *CONECTA y Dynamic Line Rating: un imperativo para optimizar la capacidad de las redes de transmisión*. Obtenido de <http://www.revistaei.cl/2016/07/04/conecta-y-dynamic-line-rating-un-imperativo-para-optimizar-la-capacidad-de-las-redes-de-transmision/#>

Hipertextual SL. (2015). *Efecto Joule*. Obtenido de <https://hipertextual.com/2015/05/efecto-joule>

Iberdrola. (2019). *Evolution of wind in Europe - Wind, the best commitment to our future*. Obtenido de <https://www.iberdrola.com/environment/wind-power-evolution-europe>

Informática Empresarial, .. (2018). *Las nuevas innovaciones*. Recuperado el 23 de Febrero de 2019, de <http://karla07000.blogspot.com/>

John W. Eaton. (2019). *Octave*. Obtenido de <https://www.gnu.org/software/octave/>

J-Power Systems . (s.f.). *GTACSR*.

J-Power Systems Corp. (s.f.). Obtenido de https://www.jpowers.co.jp/english/product/pdf/gap_c1.pdf

- Lindsey Manufacturing Co. (2018). *Transmission Capacity Forecasting and Dynamic Line Rating Platform*. Obtenido de <https://lindsey-usa.com/dynamic-line-rating/>
- Madrazo, A., González, A., Martínez, R., Mañana, M., Hervás, E., Arroyo, A., . . . Silió, D. (2013). *Increasing Grid Integration of Wind Energy by using Ampacity Techniques*. Obtenido de <http://icrepq.com/icrepq'13/549-madrazo.pdf>
- Matorras, R. M. (2017). Obtenido de https://catedraenergia.unican.es/wp-content/uploads/2017/06/P1_1%20Cigre%2026%2004%2017%20Presentaci%C3%B3n%20Viesgo%20VF.pdf
- McClean; Bryans; Colandairaj; Fox; O'Sullivan. (2008). *Equipment and methodology for linking overhead line circuit ratings to the output of nearby windfarms*. Obtenido de <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/4651581/authors#authors>
- Michiorri, A., Nguyen, H.-M., Alessandrini, S., Bjørnar, J., Silke Dierer, Ferrero, E., . . . Uski, S. (2015). *Forecasting for dynamic line rating*. Recuperado el 23 de Febrero de 2019, de <https://hal-mines-paristech.archives-ouvertes.fr/hal-01199238/document>
- Ministerio de Ciencia y Tecnología, .. (1999). *Plan de Fomento de las Energías Renovables en España*.
- Ministerio para la Transición Ecológica, .. (s.f.). *Energía y desarrollo sostenible*. Recuperado el 2 de Febrero de 2019, de <https://energia.gob.es/desarrollo/EnergiaRenovable/Paginas/Renovables.aspx>
- Olazarri, Mazon, Fernandez, Albizu, & Bedialauneta. (2015). *ANALYSIS OF DIFFERENT DYNAMIC LINE RATING SYSTEM CONFIGURATIONS IN A DISTRIBUTION LINE*. Obtenido de http://cired.net/publications/cired2015/papers/CIRED2015_1076_final.pdf
- Protecsa. (s.f.). *Smart Grid*. Recuperado el 4 de Marzo de 2019, de <http://www.protecsaing.mx/SmartGrid.html>
- Red Eléctrica de España, .. (s.f.). *Redes Inteligentes - Smart Grid*. Recuperado el 2 de Febrero de 2019, de <https://www.ree.es/es/red21/redes-inteligentes/que-son-las-smartgrid#>
- Red Eléctrica España. (s.f.). Recuperado el 25 de Abril de 2019, de *Redes inteligentes - ¿Qué son las Smartgrid?*: <https://www.ree.es/es/red21/redes-inteligentes/que-son-las-smartgrid>

- RStudio. (2018). Obtenido de <https://www.rstudio.com/products/rstudio/download/>
- RStudio. (2018). *Rstudio*. Obtenido de <https://www.rstudio.com/>
- RStudio. (2018). *RStudio*. Obtenido de <https://www.rstudio.com/products/rstudio/download/>
- Ryan, J. A., Ulrich, J. M., & Bennett, R. (2018). *Package 'xts'*. Obtenido de <https://cran.r-project.org/web/packages/xts/xts.pdf>
- Santos, M., Morentin, P., Mazon, J., & Albizu, I. (2008). *Método de instalación de conductores tipo "GAP"*. Obtenido de https://www.ica.es/contenidos/publicaciones/anales_get.php?id=1552
- Teng, F., Dupin, R., Michiorri, A., Kariniotakis, G., Chen, Y., & Strbac, G. (2017). *Understanding the Benefits of Dynamic Line Rating Under Multiple Sources of Uncertainty*. Obtenido de <https://ieeexplore.ieee.org/document/8234614/authors#authors>
- The MathWorks, Inc. (2019). *Matlab Product*. Obtenido de <https://es.mathworks.com/products/matlab.html>
- The R Foundation. (2018). *Package 'dygraphs'*. Obtenido de <https://cran.r-project.org/web/packages/dygraphs/dygraphs.pdf>
- The R Foundation. (2019). Obtenido de <https://cran.r-project.org/bin/windows/>
- The R Foundation. (2019). *Create Elegant Data Visualisations Using the Grammar of Graphics*. Obtenido de <https://cran.r-project.org/web/packages/ggplot2/ggplot2.pdf>
- The R Foundation. (2019). *dplyr: A Grammar of Data Manipulation*. Obtenido de <https://cran.r-project.org/web/packages/dplyr/index.html>
- The R Foundation. (2019). *R for Windows*. Obtenido de <https://cran.r-project.org/bin/windows/>
- The R Foundation. (2019). *rmatio: Read and Write 'Matlab' Files*. Obtenido de <https://cran.r-project.org/web/packages/rmatio/index.html>
- The R Foundation. (2019). *The R Project for Statistical Computing*. Obtenido de <https://www.r-project.org/>

The R Foundation. (2019). *zoo: S3 Infrastructure for Regular and Irregular Time Series (Z's Ordered Observations)*. Obtenido de <https://cran.r-project.org/web/packages/zoo/index.html>

Universidad de Santiago de Compostela, .. (2012). *Manteminiendo sostenible y eficiencia energética*. Cursos e congresos da Unicersidad de Santiago de Compostela N° 214. Obtenido de https://www.udc.es/gl/arquivos/sites/udc/_galeria_down/sociedade/medio_ambiente/en_eria/congresoMantementoSostenible.pdf



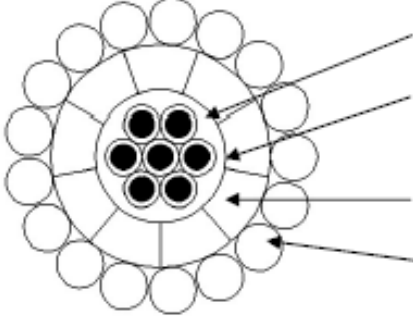
Uski-Joutsenvuo, S., & Pasonen, R. (2013). *Maximising power line transmission capability by employing dynamic line ratings – technical survey and applicability in Finland*. Obtenido de <http://sgemfinalreport.fi/files/D5.1.55%20-%20Dynamic%20line%20rating.pdf>



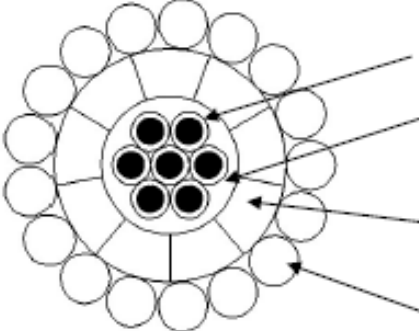
Wang, Z., & Yang., L. (2014). *Delinking indicators on regional industry development and carbon emissions: Beijing–Tianjin–Hebei economic band case*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X14003446>

Wang, Z., Yin, F., Zhang, Y., & Zhang, X. (2012). *An empirical research on the influencing factors of regional CO2 emissions: Evidence from Beijing city, China*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261912004114>

Working Group 22.12 . (2002). *CIGRE Technical Brochure 207, Thermal Behavior of Overhead Conductors*.

ANEXO I: Ficha técnica del conductor

	FICHA TECNICA DE PRODUCTO <i>Product Technical Sheet</i>	
CABLE DE ALTA CAPACIDAD TIPO GAP GTACSR-150 <i>Gap Type High Temperature Conductor GTACSR-150</i>		
<div style="display: flex; align-items: center;">  <div style="margin-left: 20px;"> <p>Alambres ACS Ø 1,85 mm ACS Wires Ø 1,85 mm</p> <p>Grasa termo-resistente Heat-Resistant Grease</p> <p>Alambres TAL Trapezoidales Trapezoid TAL Aluminium Wires</p> <p>Alambres TAL Ø 2,37 mm TAL Aluminium Wires Ø 2,37 mm</p> </div> </div>		
<u>CARACTERÍSTICAS GENERALES / General Description</u>		
DENOMINACION / <i>Cable type</i>	GTACSR-150	
DIÁMETRO NOMINAL / <i>Nominal diameter</i>	15,79 mm	
SECCION TOTAL DEL CABLE/ <i>Cable Section</i>	149,80 mm ²	
CARGA DE ROTURA NOMINAL / <i>Nominal Breaking Strength</i>	4.894 daN	
PESO / <i>Weight</i>	0,511 kg/m	
DIRECCION DE CABLEADO CAPA EXTERIOR / <i>Outer Layer Direction</i>	Derechas / <i>Right</i>	
<u>COMPOSICIÓN / Stranding</u>		
Nº DE ALAMBRES ACS Y DIÁMETRO / <i>No. of ACS Wires and Diameter</i>	(6+1) x Ø 1,85 mm	
DIÁMETRO NOMINAL DEL ALMA ACS / <i>ACS Core Nominal Diameter</i>	5,55 mm	
SECCION TOTAL ALMA ACS / <i>ACS Steel Core Cross Section</i>	18,83 mm ²	
TOLERANCIA ALMA-1ªCAPA ALUMINIO / <i>Gap</i>	1,00 mm	
TIPO DE ALEACIÓN DE ALUMINIO / <i>Aluminium Alloy Type</i>	TAL	
DIMENSIONES CAPA TRAPEZOIDAL DE ALUMINIO Y Nº ALAMBRES <i>Aluminium Trapezoid Layer Dimensions and Wires</i>	Ø 11,05 x 6,55 mm 9 Alambres / <i>Wires</i>	
ALAMBRES DE ALUMINIO (nº y Ø) / <i>Aluminium Wires (number and Ø)</i>	17 x Ø 2,37 mm	
SECCION TOTAL DE ALUMINIO / <i>Aluminium Cross Section</i>	131,00 mm ²	

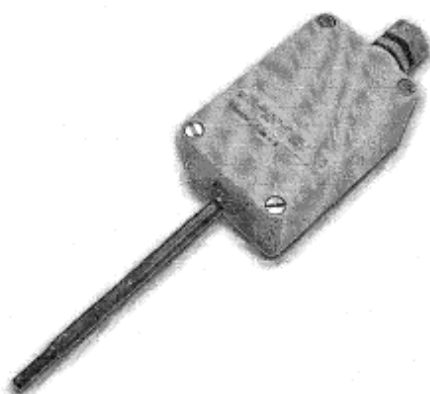
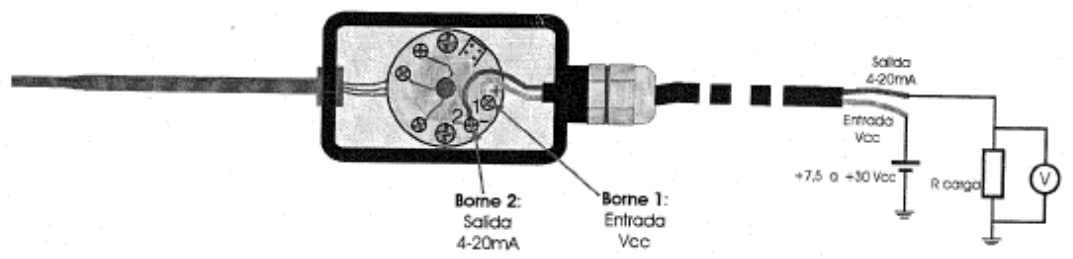
 <p>REFINASA TREFILADOS DE NAVARRA, S.A.</p>	<p>FICHA TECNICA DE PRODUCTO <i>Product Technical Sheet</i></p>	 <p>SAPREM S.A. DE PERFORMADOS METALICOS</p>
<p>CABLE DE ALTA CAPACIDAD TIPO GAP GTACSR-150 <i>Gap Type High Temperature Conductor GTACSR-150</i></p>		
<div style="display: flex; align-items: center;">  <div style="margin-left: 20px;"> <p>Alambres ACS Ø 1,85 mm ACS Wires Ø 1,85 mm</p> <p>Grasa termo-resistente Heat-Resistant Grease</p> <p>Alambres TAL Trapezoidales Trapezoid TAL Aluminium Wires</p> <p>Alambres TAL Ø 2,37 mm TAL Aluminium Wires Ø 2,37 mm</p> </div> </div>		
<p><u>CARACTERÍSTICAS MECANICAS / Mechanical Characteristics</u></p>		
CARGA DE ROTURA NOMINAL / <i>Nominal Breaking Strength</i>	4.894 daN	
CARGA DE ROTURA DEL ALMA / <i>ACS Core Breaking Strength</i>	2.917 daN	
<p><u>POR DEBAJO DEL PUNTO DE TRANSICION / Below Knee Point:</u></p>		
MODULO DE ELASTICIDAD FINAL / <i>Final Modulus of Elasticity</i>	7.590 daN/mm ²	
COEFICIENTE DE DILATACION LINEAL / <i>Coefficient of Linear Expansion</i>	19,80 x 10 ⁻⁶ K ⁻¹	
SECCION APLICABLE / <i>Applicable Cross Section</i>	149,80 mm ²	
<p><u>POR ENCIMA DEL PUNTO DE TRANSICION / Above Knee Point:</u></p>		
MODULO DE ELASTICIDAD FINAL / <i>Final Modulus of Elasticity</i>	17.400 daN/mm ²	
COEFICIENTE DE DILATACION LINEAL / <i>Coefficient of Linear Expansion</i>	11,90 x 10 ⁻⁶ K ⁻¹	
SECCION APLICABLE / <i>Applicable Cross Section</i>	18,83 mm ²	
<p><u>CARACTERÍSTICAS ELECTRICAS / Electrical Characteristics</u></p>		
RESISTENCIA ELECTRICA A 20°C EN D.C. / <i>D.C. Resistance at 20°C</i>	0,2241 Ω/Km	
TEMPERATURA MÁXIMA ADMISIBLE / <i>Max. Admissible temperature</i>	150 °C	

ANEXO II: Ficheros de datos obtenidos por sensores

- 1) SAK1_AMBp1_20121011354_201507012003.mat
- 2) SAK1_AMBp2_201509291045_311220172359.mat
- 3) SAK1_AMBh_201509291045_311220172359.mat
- 4) SAK1_SOLp1_20121011358_201507012003.mat
- 5) SAK1_SOLp2_201509291045_311220172359.mat
- 6) SAK1_SOLh_201509291045_311220172359.mat
- 7) SAK1_VIENTO_201210011358_201507012003.mat
- 8) SAK1_VIENTO_201507012004_201712312359.mat

ANEXO III: Fichas técnicas sensores

Sensor de temperatura "Progress"

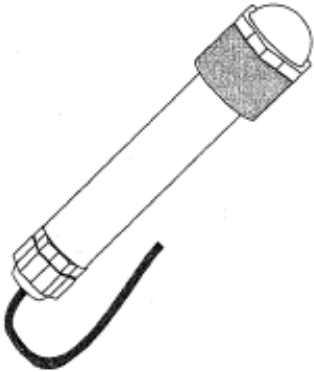
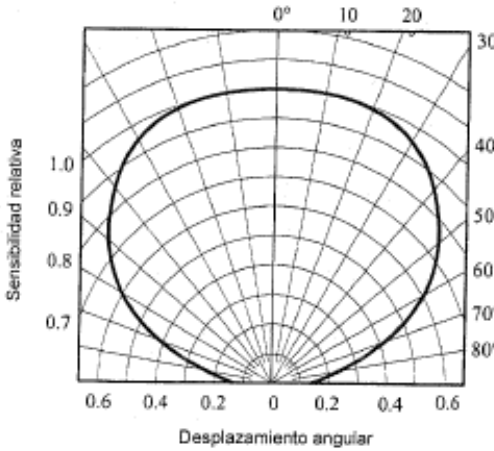
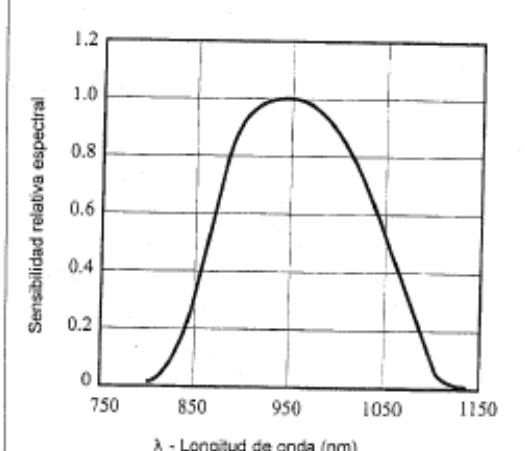
SISTEMES ELECTRONICS PROGRES, S.A.		SENSOR DE TEMPERATURA 4-20 mA	
DESCRIPCIÓN:			
<p>Sensor de temperatura del tipo PT100 que incluye transmisor 4-20 mA. para lectura de salida.</p> <p>El sensor está en una vaina de 10 cm. que sobresale de la caja y conectado al transmisor. En este último es donde se conectan los cables de alimentación y de lectura.</p> <p>El conjunto se halla alojado en una caja de plástico PP (IP65) en la que se accede por un prensaestopa.</p>			
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:			
Alimentación	De +7,5 a +30Vcc		
Señal de salida / Rango de lectura	4 - 20 mA / -30 °C a +60 °C		
Temperatura de trabajo	-40 °C a +85 °C		
Conexiones	Borne + (1) del transmisor	Positivo alimentación del sistema	
	Borne - (2) del transmisor	Salida lectura 4-20 mA	
INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO:			
<p>El sensor se sirve sin cable. El cable a conectar puede ser de dos hilos, sin apantallar. Se recomienda que sea en manguera, en un diámetro exterior máximo de 7 mm.</p> <p>El prensa estopa que dispone la caja le permite un correcto cerrado.</p> <p>El valor de tensión de lectura dependerá de la Rc para una corriente determinada de salida.</p> <p>El sensor sale de fábrica ajustado y no precisa reajuste.</p>			
CONEXIONES E INSTALACIÓN:			
			

**SISTEMES ELECTRONICS
PROGRES, S.A.**

Avda. Urgell, 23 - 25250 BELLPUIG (Lleida) España
Tel. (+34) 973 32 04 29 - Fax (+34) 973 33 72 97
info@progres.es www.progres.es

R-1514

Sensor radiación solar "Progress"

SISTEMAS ELECTRÓNICOS PROGRES, S.A.	<h2 style="margin: 0;">SONDA DE RADIACIÓN</h2>						
DESCRIPCIÓN:							
<p>Sonda para la lectura de la radiación solar con salida de 4-20 mA.</p> <p>Perfecta capacidad de captación de los rayos de luz, debido a su forma esférica que la permite obtener lecturas muy reales desde la salida hasta la puesta del sol.</p> <p>Fácil montaje en mástil mediante la grapa de sujeción que se suministra con la sonda.</p> <p>El sensor está protegido para soportar cualquiera de las condiciones climáticas adversas a la que la meteorología nos somete: lluvia, viento, humedades altas, etc.</p>							
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:							
Alimentación:	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;">Mínima</td> <td style="width: 30%;">10 Vdc (sobre 200 ohmios)</td> </tr> <tr> <td>Típica</td> <td>12 Vdc</td> </tr> <tr> <td>Máxima</td> <td>14 Vdc</td> </tr> </table>	Mínima	10 Vdc (sobre 200 ohmios)	Típica	12 Vdc	Máxima	14 Vdc
Mínima	10 Vdc (sobre 200 ohmios)						
Típica	12 Vdc						
Máxima	14 Vdc						
Señal de salida:	4-20 mA						
Rango de lectura:	0-2000 W/m ²						
Sensibilidad según ángulo de incidencia	Espectro de la sonda						
							
Conexiones:	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;">Azul</td> <td style="width: 30%;">+12 Vdc</td> </tr> <tr> <td>Marrón</td> <td>Salida 4 - 20 mA</td> </tr> </table>	Azul	+12 Vdc	Marrón	Salida 4 - 20 mA		
Azul	+12 Vdc						
Marrón	Salida 4 - 20 mA						
Distancia máxima:	1000 metros (con cable de 0,5 mm ²)						
Protecciones:	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;">Corriente inversa:</td> <td style="width: 30%;">Sí</td> </tr> <tr> <td>Sobretensiones:</td> <td>Sí</td> </tr> </table>	Corriente inversa:	Sí	Sobretensiones:	Sí		
Corriente inversa:	Sí						
Sobretensiones:	Sí						
Temperatura de trabajo:	De -10 °C a +60 °C						
Humedad de trabajo	Del 0 % al 100 %						

Sensor temperatura ambiente "Herter"



HD 9008TRR, HD 9009TRR, HD 9007
TRANSMISORES DE TEMPERATURA Y HUMEDAD,
PROTECCIÓN CON ANILLOS DE LAS RADIACIONES SOLARES

CARACTERÍSTICAS

El HD9008TRR y el HD9009TRR son transmisores con microprocesor de humedad relativa y temperatura no bloque configurables en temperatura. El HD9008TRR es un transmisor pasivo con salida 4...20mA y alimentación 10...30Vcc, el HD9009TRR es un transmisor con salida en tensión estándar 0...1V (salidas distintas son disponibles bajo pedido) y alimentación 10...30Vcc.

Los sensores son montados a la extremidad de un tubo de material plástico: el sensor de humedad es de tipo capacitivo, el sensor de temperatura es de platino (Pt 100Ω @0°C).

La reprogramabilidad se realiza simplemente pulsando una tecla sin tener que actuar sobre puentecillos, potenciómetros, etc. La entrada humedad puede ser calibrado usando dos soluciones saturadas: la primera a 75%, la segunda a 33%, el campo de humedad relativa 0%HR ... 100%HR es fijo, 4mA (0Vcc) corresponden a 0%HR, 20mA (o 1Vcc) corresponden a 100%HR.

La configuración en temperatura es -40...+80°C para el HD9008TRR y para el HD9009TRR y corresponden respectivamente a 4...20mA y 0...1Vcc.

Con un simulador de Pt100 o con unas resistencias de valor fijo, el usuario puede configurar la salida en temperatura dentro de cualquier rango, comprendido en el campo -40°C...+80°C con amplitud mínima de 25°C. Dos led señalan situaciones de alarma (temperatura fuera del rango configurado, sensor roto o en corto circuito) y asisten al usuario en la fase de programación.

Cuando se va a pedir, se puede requerir un rango de trabajo en temperatura distinto de -40°C y +80°C.

Nota importante: las sondastrabajan en el campo de temperatura -40°C...+80°C. Fuera de este campo, los datos no son correctos. La electrónica puede operar en este campo.

SENSORES

El sensor de humedad es un condensador cuyo dieléctrico está formado por un polímero higroscópico. Como la constante dieléctrica relativa del agua es aprox. 80, se obtiene una fuerte variación de capacidad al variar del contenido de humedad de este polímero. Las ventajas especiales de este tipo de sensor son la buena linealidad, la insensibilidad a cambios de temperatura, el corto tiempo de respuesta y la larga duración. El sensor pierde transitoriamente la precisión si en su superficie se forma condensación (el valor transmitido es más alto del real debido a un aumento de la capacidad efectiva).

El sensor de temperatura es una termoresistencia de platino (Pt 100Ω @0°C). La variación de resistencia de la Pt100 se convierte en una señal de corriente o tensión lineal con la temperatura.

TRANSMISIÓN DE LA SEÑAL

El circuito eléctrico está diseñado de manera que la señal aumente linealmente cuando aumenta la humedad y la temperatura.

Si hay cables que transmiten fuertes corriente o máquinas que causan disturbios electromagnéticos, se debe usar cables de conexión del transmisor en un canal separado o a una dada distancia de manera que los disturbios no interfieran.

En el modelo con salida en tensión (HD9009TRR) se recomienda usar un cable blindado para las conexiones.

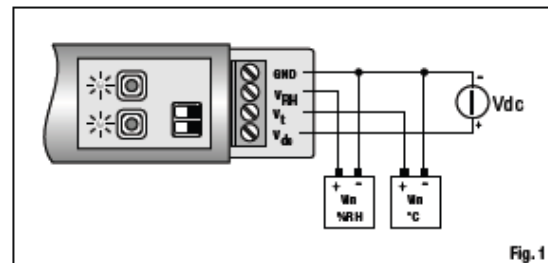


Fig. 1

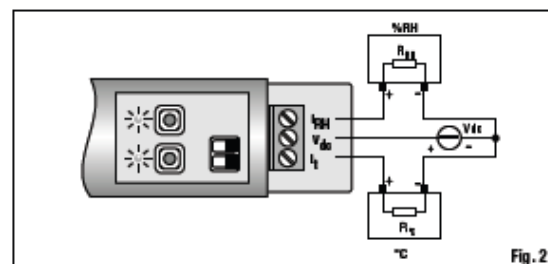


Fig. 2

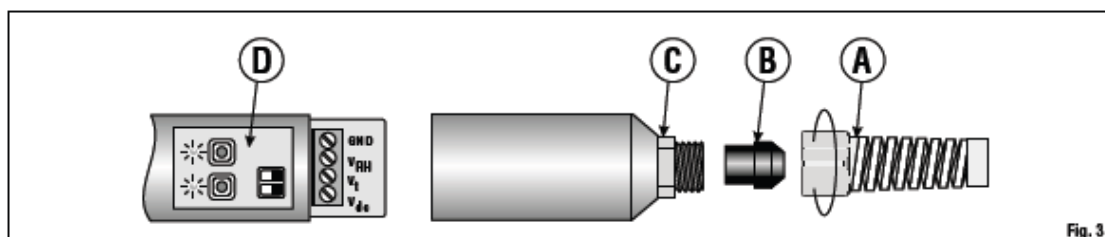


Fig. 3



**HD9007
PROTECCIÓN DE LAS RADIACIONES SOLARES CON ANILLOS**

Características

Material termoplástico antiestético resistente a las UV de baja conductividad térmica y alta reflexión Luran S777K de BASF.

Soporte en aluminio anticorrosal barnizado con polvo color blanco. Soporte de fijación a U en acero inoxidable para árbol de 25 a 44 mm.

Dimensiones: \varnothing externo 124 mm.

Altura, soporte excluido: HD9007 A1: 190 mm peso 640 g.
HD9007 A2: 240 mm peso 760 g.

Regatón para fijar la sonda: \varnothing 27 mm, bajo pedido \varnothing 25 mm.

La pantalla con anillos HD9007 se usa para proteger las radiaciones solares, lluvia y viento. Las sondas de las estaciones meteorológicas de temperatura y temperatura/humedad relativa.

CÓDIGOS DE PEDIDO

HD9008TRR: doble transmisor pasivo con microprocesor para humedad relativa y temperatura. Salidas 4...20mA en los rangos 0...100%HR, -40...+80°C.

HD9009TRR: doble transmisor con microprocesor para humedad relativa y temperatura. Salidas 0...1V en los rangos 0...100%HR, -40...+80°C.

HD9007 A1: protección con 12 anillos L=190 mm completo de soporte y fijación.

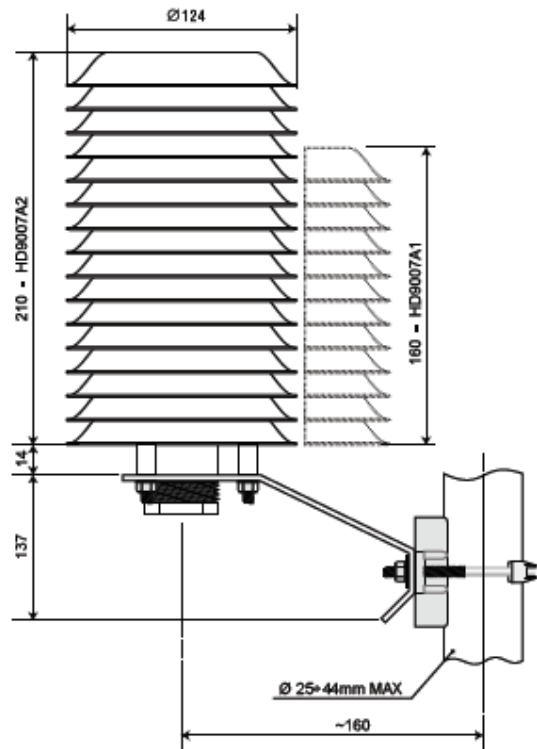
HD9007 A2: protección con 16 anillos L=240 mm completo de soporte y fijación.

HD 76: Solución satura de calibración al 75%, regatón M 24 x 1,5.

HD 33: Solución satura de calibración al 33%, regatón M 24 x 1,5.

HD 9008.21.1: soporte para sondas en vertical. Distancia pared 250 mm., agujero \varnothing 26.

HD 9008.21.2: soporte para sondas en vertical. Distancia pared 125 mm., agujero \varnothing 26.



Análisis ambientales

Análisis ambientales 305

Sensor radiación solar "Herter"



LP PYRA 02 - LP PYRA 03 - LP PYRA 12
PIRANÓMETROS

Delta Ohm produce, de acuerdo con la regulación ISO 9060 y las recomendaciones de WMO, los piranómetros de primera clase LP PYRA 02, LP PYRA 12 y el piranómetro de segunda clase LP PYRA 03. Son instrumentos robustos, fiables, soportan las condiciones climáticas adversas, son adecuados para instalaciones en campo.

Uso típico: Búsquedas atmosféricas, estaciones meteorológicas, climatología, agricultura, búsqueda en el sector del ahorro energética, medida de la eficiencia de plantas fotovoltaicas, etc.



LP PYRA 02

Los piranómetros LP PYRA 02 y LP PYRA 03 miden la irradiación solar global en el campo espectral 0.3 μm ÷ 3 μm. LP PYRA 12, gracias al anillo de la pantalla para la componente directa, permite medir sólo la componente difusa de la radiación solar. Los piranómetros no requieren alimentación externa, tienen una sensibilidad de:

$$10 \frac{\text{mV}}{\text{kW} \cdot \text{m}^2}$$

Cada piranómetro está calibrado individualmente con referencia al WRR (World Radiometric Reference) y está acompañado por un Informe de Calibración.

Características técnicas	LP PYRA 02 / LP PYRA 12*	LP PYRA 03
Sensibilidad típica	10 μV/(W/m²)	
Impedancia	30 Ω ÷ 45 Ω	
Campo de medida	0 ÷ 2000 W/m²	
Campo de vista	2π sr	
Campo espectral	0.05 nm ÷ 2800 nm (50%)	
Temperatura de trabajo	-40 °C ÷ 60 °C	
Peso	0.90 Kg	0.45 Kg
Características técnicas según ISO 9060		
Tiempo de respuesta (95 %)	< 20 seg.	< 30 seg.
Off-set de cero		
a) Res. puesta a una radiación térmica (200 W/m²)	15 W/m²	25 W/m²
b) Respuesta a un cambio de la temperatura ambiental de 5 K/h	<± 4W/m²	<± 6W/m²
3a) Inestabilidad a largo plazo (1 año):	<± 1.5%	<± 2.5%
3b) No linealidad	<± 1%	<± 2%
3c) Respuesta según la ley del coseno:	<± 1.6W/m²	<± 2.2W/m²
3d) Selectividad espectral	<± 5%	<± 7%
3e) Respuesta según la temperatura:	< 4 %	< 8 %
3f) Respuesta según el Tilt	<± 2%	<± 4%
Anillo de la pantalla para LP PYRA 12		
Peso	5.90 Kg	
Diámetro del anillo	570 mm	
Altura del anillo	54 mm	
Diámetro de la base	300 mm	

Los piranómetros están disponibles también con la señal de salida amplificada y convertida en una señal en corriente 4...20mA o tensión 0...1Vdc, 0...5Vdc y 0...10Vdc.

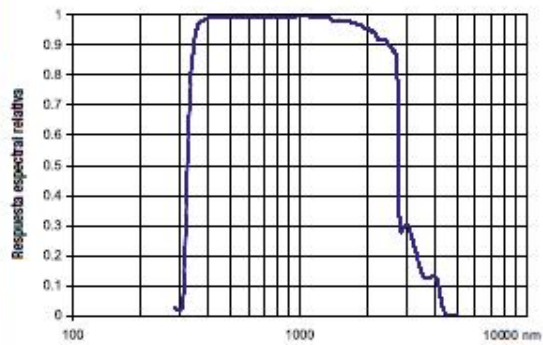
CÓDIGOS DE PEDIDO

LP PYRA 02: Piranómetro de primera clase según ISO 9060. Completo de: protección LP SP1, cartucho para los cristales de sílice gel, 2 recargas, nivel para la puesta en plano, enchufe volante M12 de 4 polos e informe de calibración. Sensibilidad típica 10 μV/(W/m²). **El cable tiene que ser pedido separadamente.**

LP PYRA 02AC: Piranómetro de primera clase según ISO 9060. Completo de: protección LP SP1, cartucho para los cristales de sílice gel, 2 recargas, nivel para la puesta en plano, enchufe volante M12 de 4 polos e informe de calibración. **El cable tiene que ser pedido separadamente. Salida en corriente 4...20mA 4mA= 0 W/m², 20mA= 2000W/m². Alimentación: 10...30Vdc.**

LP PYRA 02AV: Piranómetro de primera clase según ISO 9060. Completo de: protección LP SP1, cartucho para los cristales de sílice gel, 2 recargas, nivel para la puesta en plano, enchufe volante M12 de 4 polos e informe de calibración. **El cable tiene que ser pedido separadamente. Salida del señal en tensión 0...1Vdc, 0...5Vdc, 0...10Vdc. 0Vdc = 0W/m², 1Vdc/5Vdc/10Vdc = 2000W/m². Alimentación: 10...30Vdc (15...30Vdc para el modelo con salida 0...10Vdc).**

LP S1: Conjunto compuesto por soporte para fijar los piranómetros LP PYRA 02 a un soporte cilíndrico, completo de tornillos para la puesta en plano y fijación.



Respuesta espectral típica de los piranómetros

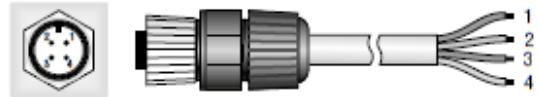
Análisis ambientales

- LP SP1:** Pantalla de protección para LP PYRA 02.
- LP S G:** Cartucho para contener los cristales de sílice gel completa de CR.
- LP G:** Paquete de 5 recargas de sílice gel.
- LP PYRA 03:** Piranómetro de segunda clase según ISO9060. Completo de nivela para la puesta en plano, enchufe volante de 4 polos **M12** e Informe de Calibración. Sensibilidad típica $10\mu W/(W/m^2)$. **El cable tiene que ser pedido separadamente.**
- LP PYRA 03AC:** Piranómetro de segunda clase según ISO9060. Completo de nivela para la puesta en plano, enchufe volante de 4 polos **M12** e Informe de Calibración. Sensibilidad típica $10\mu W/(W/m^2)$. **El cable tiene que ser pedido separadamente. Salida en corriente 4...20mA** $4mA= 0 W/m^2$, $20mA= 2000W/m^2$. Alimentación: 10...30Vdc.
- LP PYRA 03AV:** Piranómetro de segunda clase según ISO9060. Completo de nivela para la puesta en plano, enchufe volante de 4 polos **M12** e Informe de Calibración. Sensibilidad típica $10\mu W/(W/m^2)$. **El cable tiene que ser pedido separadamente. Salida de la señal en tensión 0...1Vdc, 0...5Vdc, 0...10Vdc.** $0Vdc = 0W/m^2$, $1Vdc/5Vdc/10Vdc = 2000W/m^2$. Alimentación: 10...30Vdc (15...30Vdc para el modelo con salida 0...10Vdc).
- LP S2:** Conjunto compuesto para soporte para fijar los piranómetros LP PYRA 03, asta de soporte. En el conjunto hay los tornillos de fijación del piranómetro al soporte y la pantalla de protección LP SP2.
- LP SP2:** Pantalla de protección.
- LP PYRA 12:** Piranómetro (LP PYRA 02) de primera clase según ISO9060. Completo de: protección LP SP1, anillo de pantalla para luz difundida, cartucho para los cristales de sílice gel, 2 recargas, nivela para la puesta en plano, enchufe volante **M12** de 4 polos e Informe de calibración. Sensibilidad típica $10\mu W/(W/m^2)$. **El cable tiene que ser pedido separadamente.**
- LP PYRA 12AC:** Piranómetro (LP PYRA 02) de primera clase según ISO9060. Completo de: protección LP SP1, anillo de pantalla para luz difundida, cartucho para los cristales de sílice gel, 2 recargas, nivela para la puesta en plano, enchufe volante **M12** de 4 polos e Informe de Calibración. Sensibilidad típica $10\mu W/(W/m^2)$. **El cable tiene que ser pedido separadamente. Salida en corriente 4...20mA** $4mA= 0 W/m^2$, $20mA= 2000W/m^2$. Alimentación: 10...30Vdc.
- LP PYRA 12AV:** Piranómetro (LP PYRA 02) de primera clase según ISO9060. Completo de: protección LP SP1, anillo de pantalla para luz difundida, cartucho para los cristales de sílice gel, 2 recargas, nivela para la puesta en plano, enchufe volante **M12** de 4 polos e Informe de calibración. Sensibilidad típica $10\mu W/(W/m^2)$. **El cable tiene que ser pedido separadamente. Salida de la señal en tensión 0-1Vdc, 0-5Vdc, 0-10Vdc.** $0Vdc = 0W/m^2$, $1Vdc/5Vdc/10Vdc = 2000W/m^2$. Alimentación: 10...30Vdc (15...30Vdc para el modelo con salida 0...10Vdc).
- CPM12AA 1.5:** Enchufe volante M12 de 4 polos completa de cable resistente a los UV, L=5 m. Para los instrumentos LP PYRA 02 - 03 - 12.
- CPM12AA 1.10:** Enchufe volante M12 de 4 polos completa de cable resistente a los UV, L=10 m. Para los instrumentos LP PYRA 02... - 03... - 12...
- HD978TR3:** Convertidor amplificador de señal configurable con salida 4-20mA (20-4mA). Campo de medida en entrada -10...+60mV. Configuración predefinida 0-20mV. Rango de medida mínimo 2mV. Contenedor 2 módulos DIN.
- HD978TR5:** Convertidor amplificador de señal configurable con salida 4-20mA (20-4mA). Campo de medida en entrada -10...+60mV. Configuración predefinida 0-20mV. Rango de medida mínimo 2mV. De pared, dimensiones: 58mm x 65mm, altura 35mm.

HD978TR4: Convertidor amplificador de señal configurable con salida 0-10Vcc (10-0Vcc). Campo de medida en entrada -10...+60mV. Configuración predefinida 0-20mV. Rango de medida mínimo 2mV. Contenedor 2 módulos DIN.

HD978TR6: Convertidor amplificador de señal configurable con salida 4-20mA (20-4mA). Campo de medida en entrada -10...+60mV. Configuración predefinida 0-20mV. Rango de medida mínimo 2mV. De pared, dimensiones: 58mm x 65mm, altura 35mm.

ESQUEMA DE CONEXIÓN LP PYRA 02 - LP PYRA 03 - LP PYRA 12



Conector fijo M12 de 4 polos

Enchufe volante M12 de 4 polos

LP PYRA 02 - LP PYRA 03 - LP PYRA 12

Conector	Función	Color
1	Señal (+)	Rojo
2	Señal (-)	Azul
3	No conectado (LP PYRA 03) Contenedor (LP PYRA 02 - LP PYRA 12)	Blanco
4	Pantalla (j)	Negro

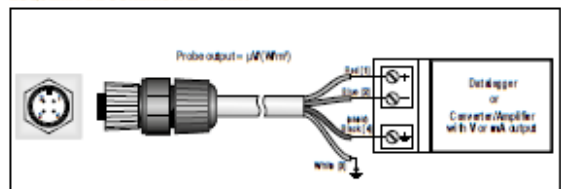
LP PYRA 02AC - LP PYRA 03AC - LP PYRA 12AC

Conector	Función	Color
1	Positivo (+), +Vcc	Rojo
2	Negativo (-), -Vcc	Azul
3	No conectado (LP PYRA 03) Contenedor (LP PYRA 02 - LP PYRA 12)	Blanco
4	Pantalla (j)	Negro

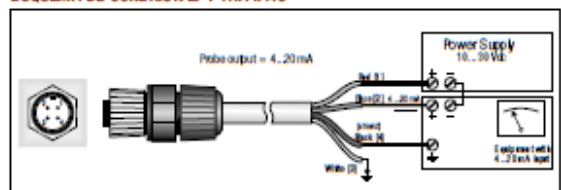
LP PYRA 02AV - LP PYRA 03AV - LP PYRA 12AV

Conector	Función	Color
1	(+) Vout	Rojo
2	(-) Vout y (-) Vcc	Azul
3	(+) Vcc	Blanco
4	Pantalla (j)	Negro

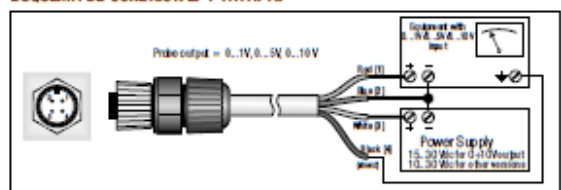
ESQUEMA DE CONEXIÓN LP PYRA



ESQUEMA DE CONEXIÓN LP PYRA .. AC



ESQUEMA DE CONEXIÓN LP PYRA .. AV



HD978TR3, HD978TR4, HD978TR5, HD978TR6

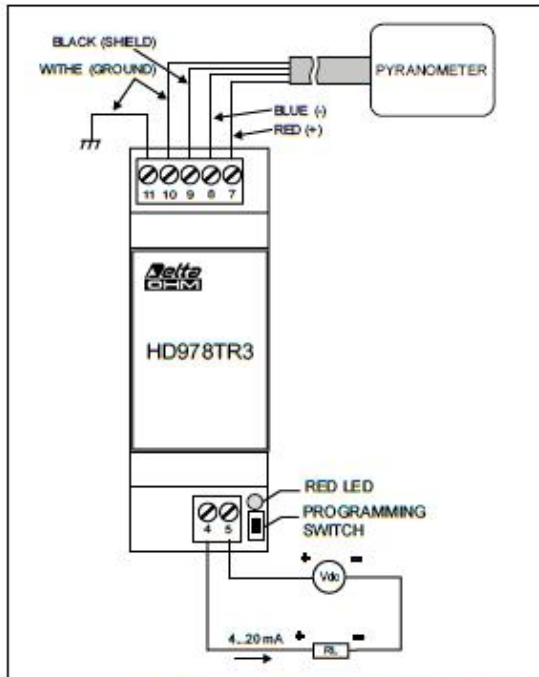


Fig.5 Esquema de conexión del HD 978TR3 a un piranómetro.

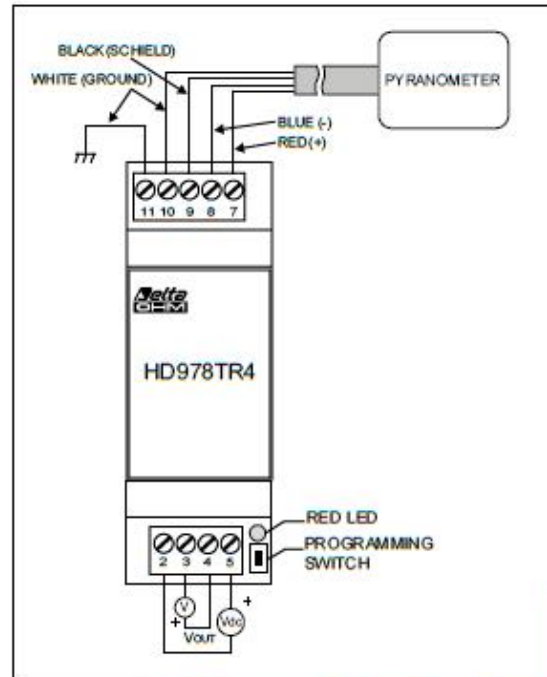
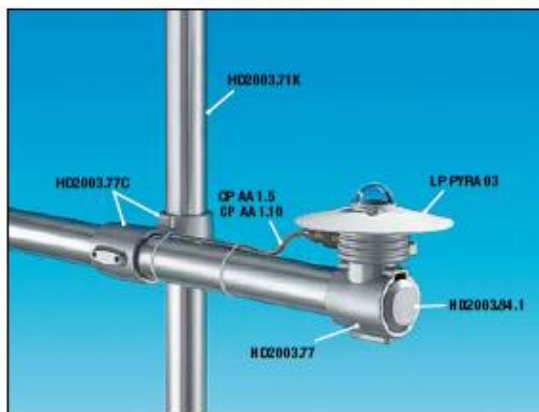
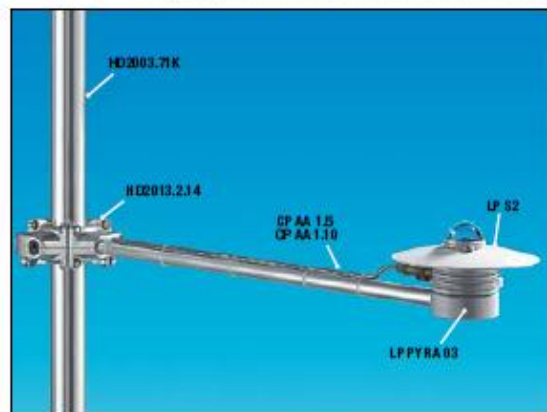


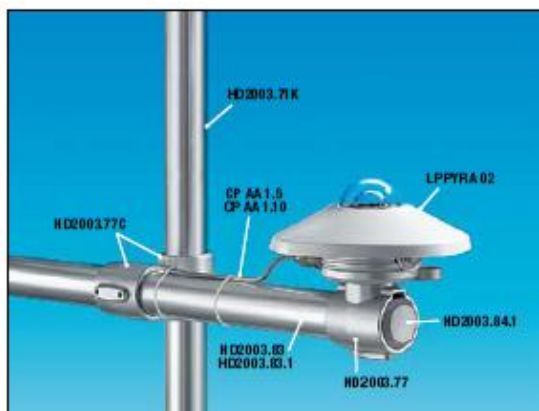
Fig.6 Esquema de conexión del HD978TR4 a un piranómetro.



LP PYRA 03 + HD2003.77 + HD2003.77C



HD2013.2.14 + LP PYRA 03 + LP SP2 + LP S2



LP PYRA 02 + HD2003.77C + HD2003.77



LP PYRA 02 + HD2003.85K + HD2003.77C

Análisis ambientales