



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

Análisis de magnitudes electrónicas en el interior de una  
caja de Faraday modificada con variables cósmicas y  
medioambientales

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Aeroespacial

AUTOR/A: Sahuquillo Benito, Víctor Balder

Tutor/a: Vidal Pantaleoni, Ana

Cotutor/a externo: MILIAN SANCHEZ, VICTOR MIGUEL

CURSO ACADÉMICO: 2021/2022



# Agradecimientos

Me gustaría comenzar agradeciendo a todas aquellas personas que, de un modo u otro se han involucrado en esta etapa de mi vida, que hayan estado ahí. Por supuesto, no querría olvidar a todos aquellos familiares y amigos que, cada uno a su manera, me han apoyado y acompañado siempre.

A nivel personal, poder continuar y colaborar con la investigación del grupo de trabajo de la UPV en este proyecto, dedicando mucho tiempo y esfuerzo, ha supuesto para mí una satisfacción, a la vez que una gran oportunidad.

Y para terminar, agradecer también la ayuda incondicional que me han prestado mi tutora, la Prof. Dra. Ana Vidal Pantaleoni, el Prof. Dr. Pedro Fernández de Córdoba Castellá y el Dr. Víctor Milián Sánchez para definir este trabajo y hacerlo posible.

# Resumen

En este Trabajo de Fin de Grado se ha analizado el comportamiento de las variables electrónicas RLC (resistencia, inductancia y capacidad) dentro de una Caja de Faraday Modificada (CFM). Se entiende por CFM aquella en la que las paredes metálicas se sustituyen por paredes conformadas por láminas alternativas de tipo metálico y orgánico. Desde el descubrimiento de las cajas de Faraday, su funcionamiento y comportamiento ha sido de especial interés en numerosos ámbitos, como el aeronáutico, por sus propiedades aislantes. Tras describir los experimentos, se han analizado las posibles correlaciones entre las variables RLC, las variables ambientales (temperatura y humedad) y las variables cosmológicas (índice geomagnético y el flujo de neutrones cósmicos). Este análisis se ha ampliado estudiando si los modelos de correlaciones cumplían los principios pertinentes. Tras observar ciertas correlaciones con el índice geomagnético, se han planteado futuros experimentos y una posible misión en un globo sonda, ya que la variación de las medidas cosmológicas con la altura es de especial interés.

Además de trabajar competencias generales como el dominio y aplicación de conceptos de ámbito electromagnético, estadístico y de programación para la resolución de problemas, se han desarrollado otras competencias de ámbito específico de la rama de aeronavegación. Entre ellas se pueden enumerar el conocimiento aplicado de electricidad y electrotecnia, conocimientos sobre los elementos funcionales básicos de los sistemas de navegación aérea y las necesidades del equipamiento embarcado.

**Palabras clave:** Caja de Faraday, Caja de Faraday Modificada, Resistencia, Inductancia, Capacitancia, Variables Ambientales, Temperatura, Humedad, Variables Cosmológicas, Índice Geomagnético, Cuentas de Neutrones, Python, Regresiones.

# Contenidos

1. INTRODUCCIÓN.....	11
1.1. Objeto del trabajo .....	12
1.2. Motivación y justificación .....	13
1.3. Estructura del trabajo.....	14
2. MARCO TEÓRICO Y EXPERIMENTAL .....	17
2.1. Antecedentes.....	18
2.1.1. Caja de Faraday .....	18
2.1.2. Caja de Faraday Modificada .....	19
2.2. Experimentos y observaciones previas.....	21
2.3. Variables cosmológicas estudiadas .....	22
2.4. Métodos y materiales experimentales.....	23
2.4.1. Configuración experimental .....	23
2.4.2. Instrumentos de medida y especificaciones.....	25
2.4.3. Componentes RLC .....	26
3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	29
3.1. Uso de Python .....	30
3.1.1. Visual Studio Code .....	31
3.1.2. Jupyter Notebook .....	31
3.1.3. Librerías empleadas .....	31
3.2. Organización del análisis y de los archivos Python.....	35
3.3. Estudio de la inductancia .....	36

3.3.1.	Gráficas globales .....	37
3.3.2.	Regresiones básicas .....	39
3.3.3.	Comprobación de las regresiones y los modelos .....	42
3.3.4.	Regresiones avanzadas .....	47
3.3.5.	Conclusiones del análisis de la inductancia .....	48
3.4.	Estudio de la resistencia .....	48
3.4.1.	Gráficas globales .....	49
3.4.2.	Regresiones básicas .....	51
3.4.3.	Comprobación de las regresiones y los modelos .....	56
3.4.4.	Regresiones avanzadas .....	66
3.4.5.	Conclusiones del análisis de la resistencia .....	69
3.5.	Estudio de la capacitancia .....	70
3.5.1.	Gráficas globales .....	71
3.5.2.	Regresiones básicas .....	73
3.5.3.	Conclusiones del análisis de la capacitancia .....	74
3.6.	Conclusiones .....	75
4.	FUTUROS EXPERIMENTOS Y MEJORAS .....	79
4.1.	Futuros experimentos .....	80
4.1.1.	Configuración experimental .....	81
4.1.2.	Mejora de la ubicación espacial y temporal del experimento .....	84
4.1.3.	Procedimientos .....	86
4.1.4.	Globo sonda .....	86

4.2.	Mejoras del estudio y propuestas futuras.....	87
4.2.1.	Considerar más índices y variables cosmológicas.....	87
4.2.2.	Análisis de causalidad .....	88
4.2.3.	Análisis de los periodos anómalos.....	88
5.	PLIEGO DE CONDICIONES .....	89
5.1.	Pliego de condiciones generales .....	90
5.1.1.	Objeto.....	90
5.1.2.	Real Decreto 488/1997, de 14 de abril .....	90
5.2.	Pliego de condiciones específicas .....	96
5.2.1.	Especificaciones de los recursos .....	96
5.2.2.	Especificaciones de ejecución .....	97
6.	PRESUPUESTO.....	99
6.1.	Desglose del presupuesto .....	100
6.1.1.	Horas de trabajo .....	100
6.1.2.	Software .....	101
6.1.3.	Hardware.....	102
6.1.4.	Costes indirectos .....	103
6.2.	Coste total .....	104
7.	ANEXOS.....	105
7.1.	Ejemplos de código de Python.....	106
	Importación de las librerías principales .....	106
	Lectura de datos de una carpeta .....	106

Resolución de un minuto y agrupación de todos los valores.....	107
Estadísticas básicas de la variable independiente .....	108
Función para las regresiones básicas.....	109
Características generales de los gráficos.....	109
Comprobación de la linealidad.....	110
Representación de la homocedasticidad de los residuos .....	110
Comprobación de la normalidad de los residuos.....	111
Cálculo de los índices de correlación y representación.....	111
Cálculo FIV .....	112
8. BIBLIOGRAFÍA.....	113

# Lista de Tablas

Tabla 1. Listado de librerías de Python.....	34
Tabla 2. Regresiones básicas inductancia sin corregir.....	40
Tabla 3. Regresiones básicas inductancia corregido .....	41
Tabla 4. FIV periodo 1 sin corregir .....	45
Tabla 5. FIV periodo 1 corregido.....	45
Tabla 6. Regresiones básicas periodo 1 resistencia sin corregir .....	51
Tabla 7. Regresiones básicas periodo 1 resistencia corregido.....	52
Tabla 8. Regresiones básicas periodo 2 resistencia sin corregir .....	53
Tabla 9. Regresiones básicas periodo 2 resistencia corregido.....	53
Tabla 10. Regresiones básicas periodo 3 resistencia sin corregir .....	54
Tabla 11. Regresiones básicas periodo 3 resistencia corregido.....	55
Tabla 12. FIV periodo 1 sin corregir .....	62
Tabla 13. FIV periodo 1 corregido.....	62
Tabla 14. FIV periodo 2 sin corregir y corregido.....	63
Tabla 15. FIV periodo 3 sin corregir y corregido.....	63
Tabla 16. Regresión PLS periodo 3 resistencia .....	67
Tabla 17. Regresión Elastic Net periodo 3 resistencia .....	69
Tabla 18. Regresiones básicas capacitancia sin corregir.....	74
Tabla 19. Desglose actividades .....	101
Tabla 20. Presupuesto total .....	104

# Lista de Figuras

Figura 1. Mecanismos clásicos dentro de una caja de Faraday [12] .....	18
Figura 2. CFM intermedia .....	25
Figura 3. Distribución de la asimetría resolución inductancia .....	36
Figura 4. Serie temporal inductancia y temperatura .....	37
Figura 5. Serie temporal inductancia, temperatura, humedad relativa, índice geomagnético y cuentas de neutrones .....	38
Figura 6. Mediciones vs predicciones OLS para inductancia corregido.....	42
Figura 7. Residuales OLS inductancia corregidos.....	43
Figura 8. Coeficientes de correlación inductancia sin corregir.....	46
Figura 9. Coeficientes de correlación inductancia corregidos.....	46
Figura 10. Serie temporal resistencia y temperatura .....	49
Figura 11. Serie temporal resistencia, temperatura, humedad relativa, índice geomagnético y cuentas de neutrones .....	50
Figura 12. Mediciones vs predicciones OLS para el primer periodo 1 resistencia sin corregir .....	56
Figura 13. Mediciones vs predicciones OLS para el primer periodo 2 resistencia sin corregir .....	57
Figura 14. Mediciones vs predicciones OLS para el primer periodo 3 resistencia sin corregir .....	58
Figura 15. Residuales OLS para el primer periodo 1 resistencia sin corregir .....	59
Figura 16. Residuales OLS para el primer periodo 1 resistencia corregidos .....	59
Figura 17. Residuales OLS para el primer periodo 2 resistencia corregidos .....	60
Figura 18. Residuales OLS para el primer periodo 3 resistencia corregidos .....	61

Figura 19. Coeficientes de correlación periodo1 resistencia sin corregir .....	64
Figura 20. Coeficientes de correlación periodo 1 resistencia corregidos .....	64
Figura 21. Coeficientes de correlación periodo 2 resistencia corregidos .....	65
Figura 22. Coeficientes de correlación periodo 3 resistencia corregidos .....	66
Figura 23. Serie temporal capacitancia y temperatura .....	71
Figura 24. Serie temporal capacitancia, temperatura, humedad relativa, índice geomagnético y cuentas de neutrones .....	72
Figura 25. Esquema del puente de Wheatstone [43].....	83
Figura 26. Predicciones actividad solar y medidas hasta la fecha [45] .....	85

# Nomenclatura

## **Acrónimos**

*CMF* - Caja Modificada de Faraday

*RLC* - Resistencia Inductancia y Capacitancia

*OLS* - Ordinary Least Square

*RLM* - Robust Linear Model

*FIV* - Factor de Inflación de la Varianza

*PLS* - Partial Least Squares

---

---

# 1.INTRODUCCIÓN

---

## 1.1. Objeto del trabajo

---

El presente Trabajo de Fin de Grado aborda la influencia de variables cósmicas y ambientales dentro de una Caja de Faraday Modificada (CFM). Ha sido tutorizado por la doctora Ana Vidal Pantaleoni y por un equipo de investigación multidisciplinar formado por profesores de la Universitat Politècnica de València (UPV) pertenecientes a los departamentos de Ingeniería Química y Nuclear, Ingeniería Electrónica y Matemática Aplicada.

A lo largo de este trabajo se ha realizado el análisis de las medidas de los elementos electrónicos pasivos RLC (resistencia, inductancia y capacitancia) medidos dentro de una CFM. Este estudio es de especial interés ya que se ha detectado variabilidad anómala en las medidas en investigaciones previas. Los datos han sido obtenidos de múltiples experimentos realizados.

Estos análisis, ya han sido trabajados en publicaciones previas como en: “Anomalous effects on radiation detectors and capacitance measurements inside a modified Faraday cage” [1], “Fluctuations in measured radioactive decay rates inside a modified Faraday cage: Correlations with space weather” [2], o en estudios todavía sin publicar como “First observations of the resistance variability inside a periodic interleaving structure” [3], “Variability of coil inductance measurements inside an interleaving structure” [4] y “More anomalous capacitance measurements inside an interleaving structure” [5].

No obstante, el enfoque que se ha dado a este trabajo es revisar los datos y proponer un procesamiento más sistemático, basado en el uso del lenguaje de programación Python y la plataforma de visualización Visual Studio Code. Esto supone una gran mejora de tiempo y elimina en gran parte errores causados por factores humanos. En lugar de emplear múltiples herramientas como Excel y Statgraphics para analizar los datos, se ha realizado una lectura directa de los datos brutos de manera que permanezcan inalterados. Una vez cargados estos datos, se realizan los pertinentes cálculos y representaciones empleando las múltiples librerías que ofrece Python.

A partir del análisis y las conclusiones del estudio, es de especial interés reproducir y mejorar los experimentos de medida para obtener más datos cuantitativos. Por ello, se ha realizado el estudio de cómo se podrían recrear, estandarizar y mejorar los experimentos con unos costes y medios asumibles. De esta manera, se podrá producir

y experimentar en diferentes partes del mundo con sus respectivas condiciones y variaciones respecto a las variables cósmicas mencionadas en [2].

## 1.2. Motivación y justificación

---

Este Trabajo de Final de Grado supone el último paso para la obtención de la titulación correspondiente al Grado en Ingeniería Aeroespacial de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño. De este modo, no se trata tan solo de una memoria más propuesta desde una asignatura, sino que este trabajo de investigación supone una puesta en práctica y una demostración de los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera. A su vez, también supone un acercamiento realista e integral al ámbito de la investigación, la experimentación y el análisis de resultados.

El tema desarrollado es de especial interés para el ámbito aeroespacial y el electrónico/eléctrico. Es bien sabido que el fuselaje de los aviones actúa como caja de Faraday protegiendo y aislando todo el equipo electrónico (como radares y sistemas de navegación) ante posibles descargas electromagnéticas [6]. Este hecho es de vital importancia para el correcto funcionamiento del instrumental que requiere altos niveles de precisión, seguridad e integridad. En particular, con la deriva actual hacia los sistemas de navegación satelitales (SNS) que permiten la localización a nivel global y que a su vez mejoran la eficiencia de las rutas y, consecuentemente, del tráfico aéreo, reduciendo riesgos, costes y combustible. Estos servicios están basados en la tecnología ADS-B (Automatic Dependent Surveillance-Broadcast) combinada con constelaciones de satélites de baja altitud como Iridium. Esta tecnología está siendo fomentada e implementada por numerosos organismos internacionales y proyectos de modernización del sector aeronáutico como el americano NextGen o el europeo SESAR.

De este modo, si se corroborase y concluyese que la electrónica dentro de una caja de Faraday Modificada (CFM) se viese alterada debido a fenómenos cosmológicos, como las tormentas solares o el propio campo geomagnético de la Tierra, habría que implementar nuevas medidas de seguridad y protección de los equipos electrónicos para prevenir cualquier tipo de comportamiento indeseado y su riesgo vinculado.

### 1.3. Estructura del trabajo

---

Este trabajo se ha configurado basándose en la estructura clásica de un informe de laboratorio. De esta manera, se seguirá un orden lógico que ayude a la comprensión de la labor realizada, comenzando con una introducción teórica y bibliográfica de los experimentos, seguida del análisis de los datos y sus conclusiones, y finalizando con la propuesta y diseño de un nuevo experimento y algunas posibles mejoras del estudio. En los anexos se incluirán ciertos ejemplos del código de Python para obtener las gráficas, modelos y demás análisis.

Para la reseña teórica, se iniciará introduciendo en qué consiste una caja de Faraday y una CFM desde la teoría electromagnética. Tras esto, se ejemplificarán algunos experimentos y observaciones previas en los que se han observado fenómenos anómalos con las CFM. Se introducirán con una breve descripción las variables cosmológicas que se han estudiado. Finalmente, se realizará una exposición detallada de la realización de los experimentos (configuración experimental, instrumentos de medida y componentes RLC bajo estudio).

En el apartado de análisis se comenzará con una justificación y explicación del uso del lenguaje de programación Python, seguido de una breve reseña de la organización de los archivos. A continuación, el análisis se ha dividido siguiendo cada una de las variables RLC estudiadas. Para cada variable se comenzará realizando un vistazo general a los datos obtenidos con gráficas globales. A continuación, se realizarán regresiones básicas tomando las variables RLC como variables dependientes, y las variables ambientales y cósmicas como independientes. Esto se llevará a cabo para cada periodo de medición y se analizarán los modelos y relaciones obtenidos. Tras esto, se realizará un análisis exhaustivo de los principios que se han de cumplir para considerar los resultados de las regresiones válidos (estudio de la linealidad, de la homocedasticidad de los residuales, de la normalidad de los residuales y estudio de la colinealidad de las variables independientes). Tras comprobar estos principios se han incluido, para el caso de la resistencia, ciertas regresiones avanzadas para reducir el efecto de la multicolinealidad en los modelos obtenidos.

En el último apartado del trabajo se expondrán, en primer lugar, los experimentos futuros y las variaciones y mejoras respecto a configuración experimental, procedimientos, y ubicación espacial y temporal de estos. Adicionalmente, se propondrá llevar a cabo el experimento en un globo sonda para observar las posibles variaciones con la altura y consecuentemente y, consecuentemente, las variables cósmicas. Esta sección no busca delimitar completamente los nuevos experimentos, si no sentar las bases

necesarias para estandarizarlos basándose en los resultados obtenidos y observaciones realizadas. También se comentarán brevemente en un apartado ciertas mejoras que se pueden realizar al estudio ya realizado como la inclusión de más índices y variables cosmológicas, estudiar la causalidad y llevar a cabo un estudio independiente de las medidas anómalas observadas.

Finalmente se adjuntarán el pliego de condiciones y el presupuesto con todos los gastos y estimaciones necesarios para la realización de este trabajo de fin de grado.



---

---

## **2.MARCO TEÓRICO Y EXPERIMENTAL**

---

## 2.1. Antecedentes

### 2.1.1. Caja de Faraday

Una caja de Faraday es un dispositivo cerrado y compuesto por materiales conductores que crea un efecto de apantallamiento electromagnético. Pese a su nombre, el término caja abarca un gran espectro de formas, sin estar limitado a un paralelepípedo o siquiera estar constituido por paredes opacas, ya que mallas metálicas y otras soluciones con orificios y entradas también actúan como apantallamiento [7].

Desde la física clásica y su concepción sobre la teoría electromagnética [8] [9], el apantallamiento se logra gracias a dos mecanismos independientes pero que actúan conjuntamente y han de ser comprendidos de este modo. El fenómeno de inducción, tanto eléctrico como magnético, es el causante de que se generen campos y corrientes que anulan a los incidentes [10] [11].

Por un lado, el campo eléctrico incidente debido al fenómeno de la inducción redistribuye las cargas libres originando un campo opuesto al generador. De este modo, ambos campos se anulan dentro de la caja aislándola eléctricamente.

Por otra parte, el campo magnético incidente junto al movimiento de las cargas libres induce corrientes de Foucault, que a su vez generan un campo magnético opuesto al incidente. De esta manera, el campo magnético también se anula.

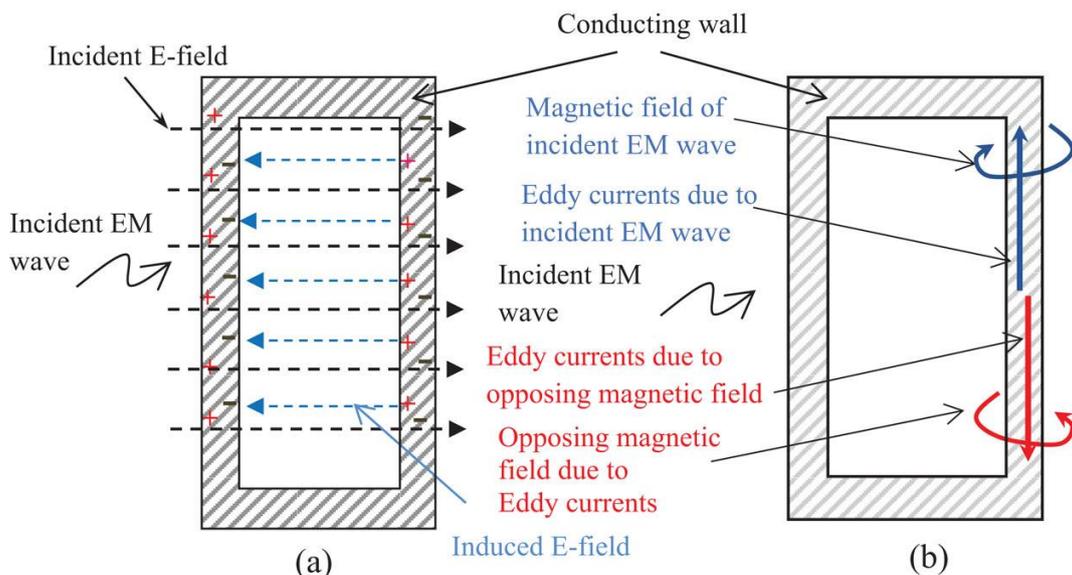


Figura 1. Mecanismos clásicos dentro de una caja de Faraday [12]

Estas son consideraciones teóricas que describen situaciones ideales. Pero en la realidad, las cajas de Faraday son estructuras imperfectas que no son un espacio ideal para estudios de compatibilidad electromagnética. Es bien sabido [13] [14] que los resultados de los ensayos en el interior de apantallamientos están afectados por la resonancia en las cajas, pues alteran significativamente la estructura del campo. La resonancia proviene de los reflejos en las paredes, que dependen del tipo, posición y frecuencia, así como de la conductividad y permeabilidad de las mismas, y de su espesor [15].

### 2.1.2. Caja de Faraday Modificada

Contrariamente a las cajas de Faraday comunes que se encuentran constituidas por una única capa o plancha protectora, la caja de Faraday Modificada es aquella compuesta por múltiples capas. En particular, la estructura utilizada para los proyectos y experimentos de esta investigación fue aplicada por primera vez por W. Reich [16], quien la descubrió casualmente en el transcurso de investigaciones biológicas, y consta de múltiples capas intercaladas de material metálico y orgánico. Esta estructura parecía caracterizarse por causar alteraciones en los procesos biológicos y físicos que tenían lugar en su interior. A lo largo de los años se ha observado repetidamente que las medidas de diferentes magnitudes físicas se ven alteradas.

En cuanto a los procesos biológicos, un efecto estudiado consistía en que aumentaba la temperatura corporal de las personas que estaban en su interior [17]. En cuanto a los físicos/químicos, resultados recientes mostraron cambios significativos en la estructura del agua al aumentar significativamente la fracción estructurada [18]. Otra llamativa observación consistió en que la medida de la tasa de desintegración radiactiva se veía alterada [16]. Independientemente de la interpretación que le pudiesen dar a estos efectos investigadores alejados del campo de la instrumentación nuclear, es obvio que se planteasen preguntas sobre la posible alteración en las propiedades de los elementos constituyentes de tal instrumentación.

Esas observaciones se ampliaron recientemente al constatar la influencia de ciertas variables cosmológicas en las medidas [1]. Estos estudios previos y otros relacionados con la influencia cosmológica se comentarán a continuación.

Otro ejemplo del efecto de los apantallamientos sobre procesos físicos y químicos fue estudiado por otros científicos coetáneos a la época de W. Reich. Así, G. Piccardi detectó los efectos de los apantallamientos de diferentes características en cuanto a formas y materiales empleados sobre reacciones químicas, tal como la hidrólisis del cloruro de bismuto en presencia de ácido con la formación de oxiclورو de bismuto insoluble en agua [19]. Por ejemplo, la velocidad de sedimentación (T en porcentaje) sufría cambios muy significativos según la naturaleza y forma de los metales. Así, considerando que la conductividad relativa de un metal (m) respecto del cobre (co) puede expresarse como:

$$G = \frac{\partial_m}{\partial_{co}} \quad \text{Ecuación 1} \quad [9]$$

Siendo  $\partial$  la conductividad (en  $S\ m^{-1}$ ), la velocidad de sedimentación puede expresarse por:

$$T = a \cdot e^{b \cdot G} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde a y b son coeficientes experimentales de valores 0.52 y 0.2 respectivamente.

En el caso de campos electromagnéticos de baja impedancia (de tipo magnético), pueden penetrar un apantallamiento fino (no magnético) [8]. En ese caso, se pueden combinar con la pantalla y aumentar su intensidad, hasta 1.4 dB (ver monografías de Cowdell, 1967 [9]). Este refuerzo del 1.4 dB concuerda con el aumento de un 17% en la intensidad del campo magnético.

Los efectos descritos por Piccardi y Bortels, que también dependen de parámetros medioambientales, son más fáciles de entender teniendo en cuenta que entre la superficie de la tierra y la ionosfera existe un campo eléctrico de entre 100 y 300 V/m. Se puede entender así que las líneas de potencial eléctrico tomen diferentes formas y varíen en el interior del recinto apantallado de acuerdo con la ionización variable de la alta atmósfera según sea la actividad solar.

## 2.2. Experimentos y observaciones previas

---

Como ya se ha apuntado, entre las observaciones más vistosas de W. Reich estaría la referente a la variabilidad en las medidas de la tasa de desintegración del Ra-226 en una CFM entre los estudios de Wilhelm Reich, [16]). Por tanto, suponiendo que las mediciones que se efectuaron fueron correctas, una pregunta que se planteó fue qué cambios se podrían haber producido en la circuitería del Geiger-Müller para observar lo que decía la literatura, y cómo y en qué medida y cómo podrían variar las diferentes variables de carácter eléctrico (resistencias, inductancias y capacitancias).

Tras numerosos experimentos y el análisis correspondiente de los resultados [1] [20], se observó que realmente podría haber variaciones en la medida de la tasa de desintegración. En uno de los experimentos se concluyó que se produjo una variación de hasta el 1.3% [1]. Los siguientes pasos consistieron en obtener el espectro de un analizador multicanal, medir la función de transferencia de un filtro RC paso-bajo y además la capacidad de un condensador ultra estable, así como la inductancia y una resistencia.

Como resultado, en los últimos experimentos se ha observado que existen ciertas desviaciones respecto al comportamiento nominal y esperado de componentes eléctricos como resistencias, bobinas y condensadores. Si la electrónica se viese realmente afectada, supondría de por sí un resultado inesperado.

Por ejemplo, la resistividad eléctrica y, consecuentemente la resistencia, se ha considerado desde la literatura existente que mantiene una relación casi lineal con la temperatura para variaciones moderadas [21].

$$R(T) = R_0(1 + \alpha(T - T_0))$$

*Ecuación 3*

De este modo, en un principio la temperatura debería ser la única variable de carácter ambiental capaz de afectar a la componente resistiva de el instrumental de medición. No obstante, como se deduce del trabajo de otros investigadores, Pommè y Pelcar [22], también se deberían considerar otras variables como la humedad relativa. Así pues, además de las posibles correlaciones con variables de carácter cosmológico, se han medido y estudiado la relación con las variables ambientales medidas en el entorno de la CFM, junto al elemento estudiado.

### 2.3. Variables cosmológicas estudiadas

---

Las variables cosmológicas que se han seleccionado para este estudio y el análisis de la posible influencia sobre los componentes eléctricos son dos: para el campo geomagnético terrestre se empleará el índice geomagnético SYM-H y para los rayos cósmicos se usará las cuentas de neutrones por segundo corregidas. Se ha decidido estudiar estas variables en particular y no otras tras el descubrimiento por parte de Felix Scholkmann, que encontró correlaciones entre los resultados presentados en [1] y estas variables [2].

Los datos del SYM-H han sido obtenidos desde el portal web del International Service of Geomagnetic Indices (ISGI). El SYM-H representa la componente simétrica horizontal (de aquí el nombre del índice) de las perturbaciones del campo magnético en latitudes medias. Para su obtención, se calcula la fluctuación respecto al campo geomagnético medio y la variación diaria solar sin ruido (quiet solar). Luego se realiza un cambio de coordenadas y se calcula la componente simétrica en la dirección correspondiente que para el caso horizontal es la dirección dipolo polo [23]. En comparación con otros índices, tiene una resolución de un minuto y es equivalente al Dst (Disturbance storm time) que cuenta con resolución de una hora [24] y que es el que se empleó realmente para los estudios de Felix Scholkmann [2] [25]. Para medirlo, se emplean 11 observatorios (9 en el hemisferio norte y 2 en el sur) repartidos por el mundo entre latitudes de 18° a 48° absolutos. Unas medidas entre 0 y -50 nT indican una actividad baja, entre -50 y -100 nT actividad moderada y, entre -100 y -250 nT, alta.

Los datos de la lluvia de neutrones (medidos en número de cuentas por segundo) han sido extraídos del portal Neutron Monitor DataBase Event Search Tool (NEST). Esta web ofrece los datos de mediciones de numerosas universidades y laboratorios de investigación de todo el globo. En particular se han empleado las mediciones de la estación más próxima de la universidad de Alcalá (Castilla la Mancha, España) operado por el Space Research Group (SRG-UAH) [26]. Allí hay instalado un detector de neutrones estándar 15-NM64 (15 tubos contadores del modelo NM64). Adicionalmente, estas medidas son corregidas mediante factores de corrección basados en variables ambientales como la presión y otras dependientes de las instalaciones como el tipo de edificio o el número y composición específica de los tubos contadores. Después de ser corregidas, estas medidas son revisadas para comprobar si coinciden con el periodo de muestreo y comprobar cualquier posible fallo o error de las instalaciones.

## 2.4. Métodos y materiales experimentales

---

A lo largo de este apartado se describirán los diferentes experimentos con común configuración que se han llevado a cabo para la medición de las tres variables bajo estudio, listando así los métodos realizados y el material empleado. Primeramente, cabe destacar que estos 3 experimentos se han llevado a cabo durante un periodo de casi seis meses en total y se han diseñado para describir el comportamiento de resistencias, capacitores e inductancias, complementando el estudio de la desintegración nuclear. La duración de estos experimentos ha sido tan extensa como ha sido posible, con el objeto de reunir una cantidad suficiente de datos que permitiesen observar las posibles alteraciones y perturbaciones en relación con el carácter dilatado en el tiempo de las variaciones de las variables cosmológicas.

El experimento y su configuración es muy básico, ya que consiste únicamente en tomar mediciones de una resistencia, capacitador o inductancia ubicadas dentro y fuera de múltiples cajas de Faraday de elaboración propia mediante un multímetro. En relación con experimentos previos, se han realizado algunas mejoras y modificaciones en lo que respecta a la configuración básica y la obtención de datos. En comparación con experimentos anteriores, en los que se midió la función de transferencia de un filtro RC (resistencia capacitador) paso-bajo, así como el comportamiento de los componentes individuales [20], en este trabajo se ha optado por caracterizar individualmente cada componente para evitar cualquier tipo de interacción o acoplamiento indeseado. Adicionalmente, se decidió emplear un mayor número de cajas de Faraday para mejorar el aislamiento y el apantallamiento, y también para verificar si aumentando el número de capas aumentaría la variabilidad observada en los primeros experimentos de este estudio [20]. Finalmente, también se midieron temperatura y humedad (junto al elemento bajo test) para registrar con precisión estas variables ambientales, de acuerdo con lo que se dedujo de trabajos pasados [2]. No obstante, esta mejora se incorporó más tarde, por lo que para el experimento de la capacitancia se han empleado las mediciones de la una estación meteorológica más próxima de la AEMET, situada en la UPV.

### 2.4.1. Configuración experimental

La CMF principal empleada para estos experimentos y los previos se trata de un hexaedro regular o cubo de dimensiones 50x50x50 cm formado por ocho capas

intercaladas de metal y material orgánico, siendo la primera externa (de fuera a dentro) orgánica. Este diseño sigue las especificaciones de experimentos propios ya comentados que presentaban los resultados más notables [16]. Las capas metálicas son de aluminio comercial de 1 mm de espesor. Adicionalmente, el aluminio es un gran conductor (conductividad  $35.8 \cdot 10^6 \text{ S}\cdot\text{m}^{-1}$ ) y actúa de pantalla eléctrica. Junto a sus propiedades mecánicas y químicas, es uno de los candidatos más usados para los fuselajes de aviones. Las capas orgánicas están formadas por láminas de corcho comercial de 2 mm de espesor.

Como se ha comentado, para estos experimentos, se cambió la configuración del ensayo en pos de aumentar el apantallamiento y el aislamiento. Para ello, adicionalmente al CFM de dimensiones 50x50x50 cm de experimentos previos, se decidió emplear dos cajas más adicionales de menor tamaño y colocadas de manera superpuesta como si de una matrioshka se tratase. Cabe remarcar que las cajas se colocaron una dentro de la otra apoyadas, centradas en la base y con la misma orientación.

La caja intermedia también se trata de una CFM. Cuenta con unas dimensiones de 25x25x25 cm y está formada por capas (misma estructura, pero cuenta con 18 capas), esta vez de hierro galvanizado comercial de un 1 mm y láminas de corcho comercial de 2 mm de espesor. Al igual que en las anteriores, la capa más interior es metálica y al ser par e intercalarse, la más exterior es de corcho. Esta configuración tiene la ventaja de seguridad frente a posibles contactos eléctricos.

Finalmente, la más pequeña es una caja de cartón de dimensiones 9x9x13 cm. Esta caja se cubrió con una malla metálica para mayor aislamiento.

El componente bajo estudio junto al sensor de temperatura y humedad se colocaron dentro de la más pequeña e interior, dejando pequeñas aperturas en cada caja para poder pasar los cables correspondientes para las mediciones y las conexiones eléctricas. Estas aperturas se ubican en una de las aristas de cada caja al no estar cerradas del todo. El componente se ubicó centrado en la caja sustentado por los cables conectados. El sensor se situó en un lado de la caja sin llegar a tocar las paredes.



*Figura 2. CFM intermedia*

#### 2.4.2. Instrumentos de medida y especificaciones

Para efectuar las mediciones, se ha hecho uso de un multímetro modelo HP 4263 B y un sensor de temperatura y humedad DHT22 conectado a un microcontrolador Arduino Uno.

Para generar la señal de entrada para el componente bajo estudio se empleó la función correspondiente del multímetro. Este se conectó para generar la señal de entrada con gran precisión y permitiendo controlar la frecuencia y el voltaje a testear. Se seleccionó una frecuencia de 1 kHz y un valor eficaz de tensión de 1 V. De este modo, según las especificaciones técnicas del multímetro, la frecuencia tiene una precisión del  $\pm 0.01\%$  y el voltaje de  $\pm(10\%+10\text{ mV})$ . La precisión de las medidas está en torno al 0.1% sin particularizar para ninguna variable [27]. Las condiciones del laboratorio cumplieron en todo momento los márgenes que aseguran el funcionamiento en las mejores condiciones del multímetro ( $23\pm 5\text{ }^\circ\text{C}$ ).

Las medidas se tomaron cada segundo pese a que el equipo podía tomarlas en periodos de hasta 25 ms. No obstante, se obtendría una cantidad de datos enorme al estar conectado varios días seguidos. Y puesto que del SYM-H y las cuentas de neutrones solo se tienen datos por minuto, dificultaría el estudio estadístico.

Para conectar el multímetro al componente bajo estudio se empleó un set de pinzas Kelvin HP 16089B para minimizar las corrientes parásitas.

El sensor de temperatura empleado se trata del modelo DHT22 también llamado AM2302. Hace uso de un sensor capacitivo de humedad y un termistor para medir la temperatura del aire y cuenta con una salida digital. La precisión de la temperatura  $\pm 0.3$  °C y cuenta con una resolución de 0.1 °C. Respecto a la humedad relativa, el dispositivo cuenta con una precisión del  $\pm 3\%$  y una resolución de 0.1% [28]. Las medidas de ambas variables ambientales se tomaron cada minuto haciendo uso de una placa Arduino Uno programada con LABVIEW.

### 2.4.3. Componentes RLC

Los diferentes componentes bajo estudio se escogieron basándose en su estabilidad ante las variaciones ambientales y, principalmente, ante la temperatura. Puesto que las mediciones se iban a tomar durante un periodo extenso de varios días, era necesario que estos componentes fueran capaces de soportar las variaciones de temperatura y que no padecieran, o que fuese en la menor medida posible, los efectos de la fatiga térmica. También se consideró que fueran componentes relativamente fáciles de encontrar para facilitar la reproducibilidad del experimento.

Para este estudio se seleccionó una resistencia con película de carbón de 22 k $\Omega$  nominal. Como su nombre indica, está formada por una película de carbón que envuelve, en este caso, a un núcleo cerámico con alto contenido de alúmina. Esta resistencia de alta calidad se emplea comúnmente en dispositivos electrónicos de audio, comunicaciones e incluso mediciones y ordenadores. En particular, se seleccionó un modelo con un dos por ciento de tolerancia y con un coeficiente de temperatura que puede oscilar entre 0 a -450 ppm/°C (-9,9  $\Omega$ /°C para una resistencia de 22 k $\Omega$ ) [29]. Como este coeficiente debe de ser constante para el rango de temperaturas del laboratorio, no debería suponer ningún inconveniente que tenga un rango tan amplio.

Para las mediciones de la inductancia se decidió emplear una bobina SBCEP-80HY103HB. Esta bobina tiene una configuración de tambor con el cable conductor enrollado alrededor de un núcleo de ferrita y níquel-zinc. No cuenta con ninguna clase de apantallamiento magnético adicional, puesto que se pretendía que todo este fuera proporcionado por las CFM. Considerando las condiciones de la toma de medidas, la inductancia de este componente presenta un valor de 10 mH con una tolerancia de  $\pm 10\%$  [30].

Finalmente, para la capacitancia se hizo uso de un condensador cerámico multicapa modelo B37986N de  $10 (\pm 10\%)$  nF. Esta clase de condensadores por capas alternativas de cerámica dieléctricas y electrodos metálicos se caracterizan por su estabilidad frente a la temperatura. El modelo seleccionado pertenece a la clase I, la mayor categoría respecto a estabilidad. Adicionalmente, su clase respecto a las características de la temperatura es C0G/NP0. Esto implica que es ultra estable también respecto a la temperatura, con unos coeficientes centrados en  $0 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$  y una incertidumbre de  $\pm 30 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$  [31].



---

---

## **3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS**

---

### 3.1. Uso de Python

---

Python es un lenguaje de programación cuya primera versión se lanzó en 1991 y, gracias a sus características y mejoras a lo largo de los años, lo han posicionado como el lenguaje de programación más usado a escala mundial. Tal y como muestran múltiples índices (TIOBE [32] o PYPL [33]) que se basan en criterios como en las búsquedas de tutoriales, el número de ingenieros o el número de cursos, Python se ha posicionado como el lenguaje más usado, superando así a otros como Java, JavaScript, C, C++ o R.

Las principales aptitudes y propiedades que presenta este lenguaje, tal y como define su propia documentación son:

“Python is an interpreted, object-oriented, high-level programming language with dynamic semantics. Its high-level built in data structures, combined with dynamic typing and dynamic binding, make it very attractive for Rapid Application Development, as well as for use as a scripting or glue language to connect existing components together.” [34]

Que sea interpretable implica que el código no necesita ser compilado para pasarlo a lenguaje máquina, reduciendo el tiempo de carga y el uso de recursos. Que sea un lenguaje de alto nivel significa que el código y los algoritmos se expresan con un gran nivel de abstracción, facilitando la comprensión humana y la flexibilidad a la hora de programar. Finalmente, gracias a que se encuentra orientado al uso de objetos junto a sus propiedades dinámicas, Python facilita la redacción de código y la corrección de posibles errores evitando así “errores fatales”.

En comparación con otros lenguajes, Python favorece en gran medida la redacción de código reduciendo el número de líneas hasta en 3-5 veces las necesitadas en Java o incluso de 5-10 veces las que se requerirían en C++ [35]. Esto es debido a que no es necesario declarar los argumentos ni los tipos de las variables en la mayoría de los casos para el correcto funcionamiento del código. No obstante, a causa de la programación orientada a objetos, el tiempo de ejecución en algunos casos puede llegar a ser mayor que en otros lenguajes.

Por todos estos motivos y gracias a la recomendación de unos ingenieros de ciencia de datos especializados en procesar grandes cantidades de información de manera eficiente, se ha seleccionado Python para procesar los datos de este proyecto.

### 3.1.1. Visual Studio Code

Visual Studio Code, o VS Code para acortar, se trata de un entorno de desarrollo integrado que facilita en gran medida la programación Python. Esto se consigue al incluir y presentar numerosas herramientas de programación de manera conjunta. Estas herramientas incluyen un editor de código fuente que favorece la simplificación en cuanto a la redacción del código con características como autocompletar o el resaltado de la sintaxis; herramientas de construcción automáticas que eliminan trámites a la hora de ejecutar el código y depuradores o debuggers para facilitar la detección y corrección de posibles errores del código.

VS code es gratuito, de código abierto y operable en Windows, Linux y macOS, por lo que propicia en gran manera la universalidad del código redactado y su distribución. Finalmente, tal y como avalan los datos y encuestas entre más de 82,000 desarrolladores profesionales, VS Code es el entorno preferido con un 71.06% de utilización [36].

### 3.1.2. Jupyter Notebook

Para facilitar todavía más la redacción de código y en particular su ejecución, se ha optado por emplear una libreta o “notebook” en inglés. Jupyter Notebook permite la segmentación del código compartiendo el Kernel al trabajar superpuestamente con el editor de código fuente de VS Code. Este fraccionamiento del código facilita la ejecución de secciones por separado que, a su vez ayuda, con la detección de errores y con la legibilidad e interpretación del código. A su vez que VS code, Jupyter Notebook también es un software gratuito y de código abierto completamente compatible con Python.

### 3.1.3. Librerías empleadas

Para este trabajo y análisis de resultados se ha hecho uso de numerosas librerías de acceso libre. Todas ellas se pueden descargar gratuitamente desde la interfaz de VS Code empleando el comando `%pip install nombre_libreria`.

### Librerías de uso general

Por un lado, se han empleado librerías de uso general para la definición de clases y categorías, como Pandas o NumPy, y otras como Glob para la lectura de datos.

**Pandas** es una librería que permite trabajar con los datos de manera rápida y flexible al implementar numerosos tipos de objetos de alto nivel. Esto permite que definir conjuntos de datos como matrices e interactuar con ellos sea mucho más fácil e intuitivo. También cuenta con múltiples herramientas estadísticas integradas que ayudan notablemente a procesar los datos con comodidad y rapidez.

**NumPy** también está orientado al trabajo con matrices y permite la implementación de múltiples cálculos algebraicos de manera muy eficiente gracias al uso que hace de los recursos de memoria.

**Glob** es un módulo que ofrece funciones para la lectura de datos. Se basa en la elaboración de listas de archivos al configurar el directorio y extensión de estos. Esta librería se empleará para escanear los diferentes archivos de datos de manera automática.

### Librerías gráficas

Para la creación de figuras y representaciones es necesario emplear librerías que faciliten la interpretación de los datos representados y que ofrezcan múltiples tipos de gráficas. Para los grafismos se han empleado las librerías Matplotlib y Seaborn.

**Matplotlib** surgió como una alternativa de fuente libre de Matlab. De esta forma ofrece una interfaz para generar gráficas similares en cuanto a estilo. Esta librería está diseñada para trabajar con los datos y objetos elaborados mediante las librerías previamente mencionadas de Pandas y NumPy.

**Seaborn** es una biblioteca gráfica construida sobre Matplotlib que ofrece mayores prestaciones en cuanto a elementos y figuras estadísticas como barras de error y gráficas especializadas. Al igual que Matplotlib, trabaja perfectamente con las estructuras de datos de Pandas y NumPy. Adicionalmente, presenta una mayor configuración estilística que permite obtener gráficas más limpias y pulcras que facilitan su comprensión.

### Librerías estadísticas

Finalmente, para el análisis estadístico de los datos y principalmente para realizar múltiples tipos de regresiones, se ha hecho uso de diferentes librerías de carácter estadístico. Estas son Statsmodels, SciPy, y Scikit-Learn (Sklearn).

**Statsmodels** incluye múltiples modelos estadísticos y los tests más clásicos y comunes. Esta librería está diseñada para trabajar conjuntamente con las estructuras de datos de Pandas y NumPy. Así mismo, los contenidos de esta librería han sido comparados y contrastados con otras herramientas estadísticas para comprobar el correcto funcionamiento e implementación.

**SciPy** es otra librería estadística que amplía y completa un poco Statsmodels al incorporar ciertas pruebas y herramientas comunes con Matlab o R-Lab. Este módulo también funciona con NumPy y Matplotlib.

**Sklearn** es un módulo orientado al aprendizaje de máquina (machine learning) que incluye modelos estadísticos avanzados como regresiones iterativas. Esta librería está construida sobre NumPy, SciPy y Matplotlib.

## Recopilación de librerías

A continuación, se presenta una tabla donde se agrupan las diferentes librerías y su uso.

	Nombre de la librería	Uso
Uso general	Pandas	Estructuras de datos
	NumPy	Trabajo con arrays
	Glob	Elaborar listas de archivos para escanear
Grafismo y figuras	Matplotlib	Base de las figuras
	Seaborn	Estilos y figuras avanzadas
Estadística	Statsmodels	Modelos y test básicos
	Scipy	Modelos y test complementarios
	Sklearn	Modelos de regresión avanzados basados en machine learning

Tabla 1. Listado de librerías de Python

## 3.2. Organización del análisis y de los archivos Python

---

Para cada variable se ha intentado emplear la misma metodología y seguir un mismo orden en su procesamiento y estudio. En caso de anomalía en los resultados y de necesitar algún análisis adicional, este se ha realizado según corresponda.

De este modo, todos los archivos tienen una estructura semejante. En un primer lugar, para poder trabajar con los datos se realizan las siguientes tareas:

1. Lectura de datos. Todos los datos de las diferentes fuentes de datos son leídos en un inicio. En principio se parte de cuatro archivos de texto (.txt) cada uno con una variable (a excepción de temperatura y humedad que se encuentran agrupados) y su origen respectivo.
2. Igualación de la resolución de los datos. Puesto que las medidas de RLC se tomaban cada segundo y el resto de las variables tienen una resolución de un minuto, se calcula la media por minuto de las variables RLC.
3. Agrupación de los datos. Las diferentes variables se agrupan en una única matriz (objeto del módulo Pandas) basándose en su tiempo exacto de recopilación.

Para facilitar este proceso no es necesario que los datos de las mediciones tengan exactamente el mismo inicio y final temporal, ya que lo que se hace tras agruparlos es eliminar los datos excedentes en los que no hay mediciones RLC. Es decir, si se introducen mediciones RLC del día 5 al 6, se pueden introducir mediciones del índice geomagnético de los días 4 al 7, ya que la agrupación de datos se encarga de eliminar el excedente y quedarse únicamente con el periodo de mediciones RLC.

A continuación, se procede a buscar si existe algún tipo de dependencia entre las variables RLC con las variables medioambientales y cosmológicas. Para ello se han realizado múltiples regresiones y análisis adicionales de comprobación de los modelos formulados (como la comprobación de los residuales o la multicolinealidad entre las variables). Para estos estudios se ha seguido una línea de trabajo iterativa, en la que tras comprobar si se daba alguna anomalía, se ha vuelto a las regresiones para comprobar los modelos y ampliarlos, cambiarlos o modificarlos.

Los comentarios y análisis de cada gráfica y tabla se han realizado justamente después de incluirla. Para la resistencia, que contaba con varios periodos de mediciones, se alternan tablas y comentarios de cada periodo.

### 3.3. Estudio de la inductancia

Las mediciones de la inductancia dentro de las CFM datan desde las 14:50 del día 26/10/2020 hasta las 00:00 del día 04/11/2020. Durante este periodo, se dejaron los equipos de mediciones en constante funcionamiento.

Como se ha comentado recientemente, uno de los primeros pasos para poder analizar los datos es igualar la resolución temporal. Para ello, se ha calculado la media y la mediana por minutos de las mediciones de inductancia tomadas cada segundo. Para discernir si es más adecuado emplear la media o la mediana, se ha comprobado la distribución de la asimetría (skewness). Este valor indica cuan simétricas son las distribuciones y, por tanto, si se encuentra centrado en 0 es indicativo de que no es necesario emplear la mediana. De este modo, se han calculado el valor de la asimetría para todos los minutos.

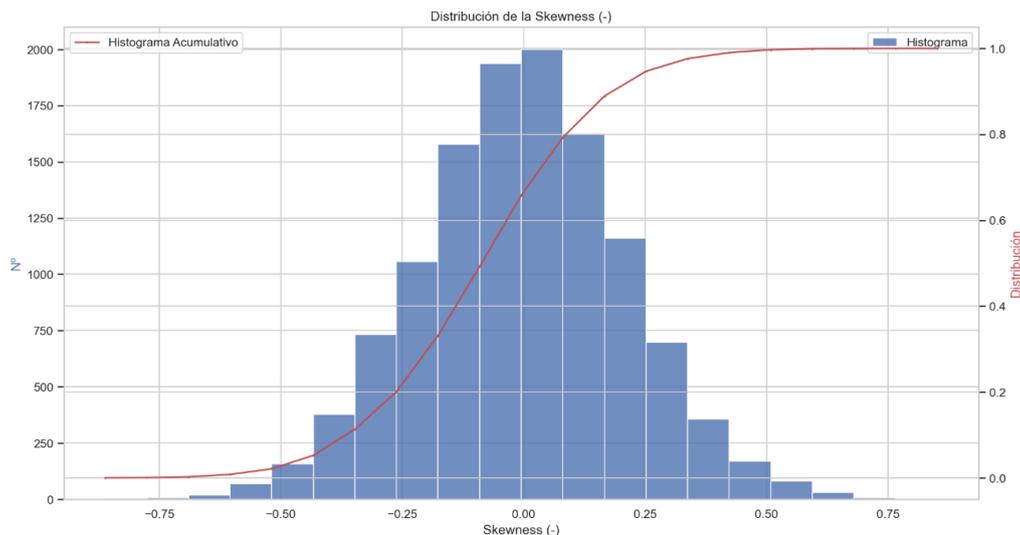


Figura 3. Distribución de la asimetría resolución inductancia

Como se puede comprobar a simple vista, la distribución de la asimetría es a su vez simétrica y centrada en 0 (con una media de -0.00259). Adicionalmente, los valores por encima del 0.50 en valor absoluto que representarían ya una distribución moderadamente asimétrica, tan solo representan un 2.17% del total de minutos. Asimismo, se ha comprobado que no hay ninguna discrepancia ni ninguna dependencia con el tiempo, de manera que la asimetría se distribuye de manera aleatoria y no depende del equipamiento o algún otro fenómeno. Estas comprobaciones se han realizado para todas las variables RLC pero se omitirá para los siguientes análisis si no se detecta ninguna anomalía.

### 3.3.1. Gráficas globales

A continuación, se procede a representar la variación de la inductancia a lo largo de todo el periodo de mediciones junto a la variación de temperatura para observar si hay una posible relación, como sería de esperar. Por otra parte, se representará también la inductancia con el resto de las variables.

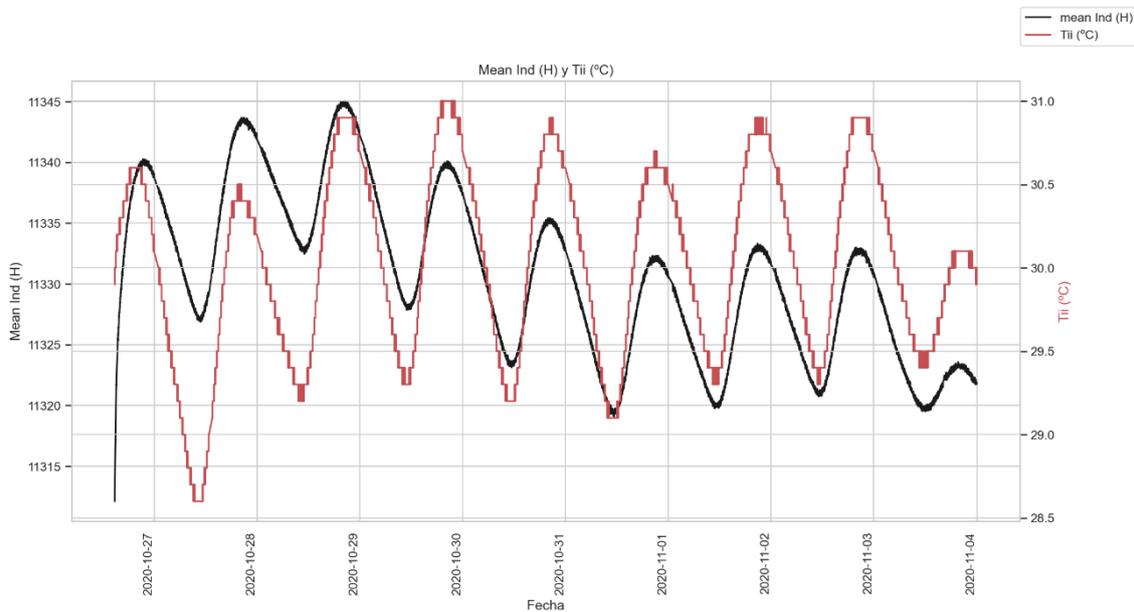


Figura 4. Serie temporal inductancia y temperatura

En este gráfico se puede observar como la inductancia sigue cierta relación directa con la temperatura. Esta variable oscila periódicamente según los ciclos día-noche al igual que la temperatura. De esta forma, se aprecia como coinciden máximos y mínimos en los mismos instantes de tiempos. No obstante, existen algunos desajustes notables en la evolución de la media de las dos medidas. Por ejemplo, en el segundo pico que se da poco antes del día 28, mientras que la inductancia ha aumentado notablemente respecto al día anterior, el pico de la temperatura por el contrario llega incluso a disminuir. También a mitad del periodo, la temperatura y sus picos disminuyen hasta el día 1 para luego volver a aumentar, mientras que la inductancia no lo hace en igual medida, ya que tras disminuir hasta el día 1, se mantiene casi constante. Esto muestra un desajuste anómalo entre temperatura e inductancia.

Además, al inicio de la gráfica, durante las primeras horas de mediciones se produce un aumento considerable de la inductancia hasta que parece estabilizarse. Esto se debe al comportamiento transitorio de la bobina y el circuito en general (ya que depende también de la resistencia) al aplicar una corriente.

Estas variaciones y desajustes podrían ser explicados por la influencia de otras variables y factores o por una dependencia y relación no completamente lineal con la temperatura.

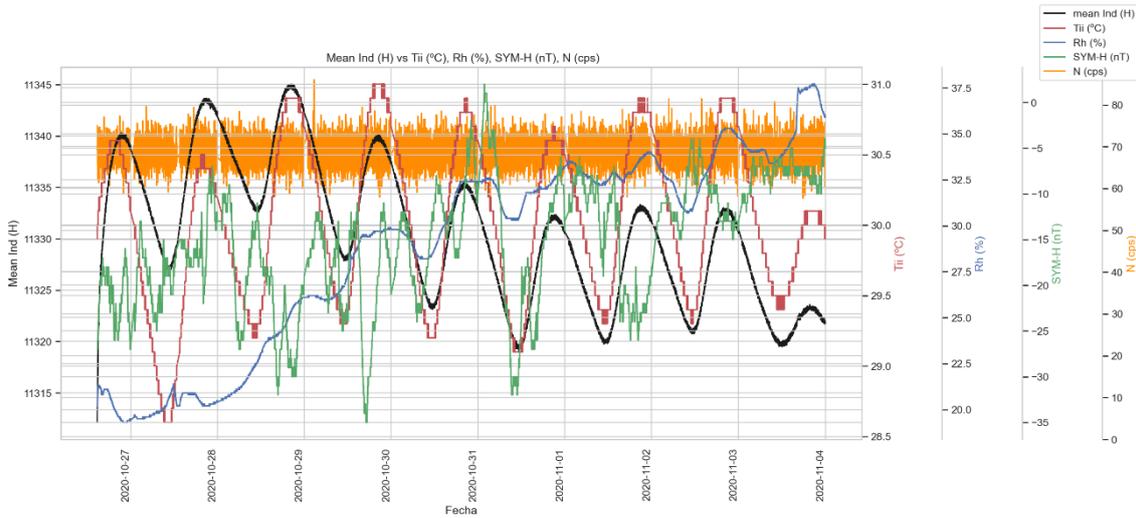


Figura 5. Serie temporal inductancia, temperatura, humedad relativa, índice geomagnético y cuentas de neutrones

En esta segunda gráfica de la serie temporal con todas las variables se pueden apreciar numerosos fenómenos. En primer lugar, no parece haber ningún comportamiento especialmente inusual de ninguna variable al inicio del periodo de mediciones que pudiera haber alterado el estado transitorio de la inductancia.

La humedad relativa (en azul) durante este periodo aumenta de manera prácticamente constante a lo largo del periodo de mediciones pasando de unos valores de tan solo el 20% al inicio hasta rondar el 37%. Al compararlo con la variación de la inductancia, no se aprecia ninguna relación muy clara. Solamente al final parece que al aumentar, y al igual que lo hace la temperatura, podrían estar contrarrestándose ambos efectos, produciendo que la inductancia se mantenga constante. Durante los primeros días, no obstante, se produce el efecto contrario, ya que pese a que esta aumenta, la inductancia no disminuye sino que crece. Sin embargo, esto podría estar causado todavía por el comportamiento transitorio de la inductancia que todavía está aumentando hasta estabilizarse con la corriente.

El índice geomagnético SYM-H (en verde) presenta un comportamiento errático durante este periodo con numerosos máximos y mínimos que no parecen seguir ningún periodo o ciclo a simple vista. La tendencia general es a aumentar levemente, pero se mantiene bastante próximo a los -16 nT toda la serie. Cabe recalcar que, prácticamente todas las medidas excepto un máximo el día 31 son negativas y de valores entre 0 y -35 nT,

indicando que la actividad solar y el índice geomagnético se encuentran por debajo de la media de referencia durante todo este periodo de medidas. Estos datos coinciden con un mínimo la actividad solar (Figura 26).

Finalmente, el número de cuentas de neutrones por segundo (en naranja) tiene un comportamiento prácticamente aleatorio y en forma de ruido blanco. Durante estas mediciones, no parece apreciarse ningún aumento ni variación significativa ni periódica de ningún tipo. Su media se mantiene sobre los 68-69 cuentas por segundo, valores también relativamente bajos y acordes a la baja actividad que indica el SYM-H.

#### 3.3.2. Regresiones básicas

Para realizar las primeras regresiones se ha optado por dos modelos comunes. En primer lugar, se realizará una OLS (Ordinary Least Squares) que como su nombre indica, genera un modelo lineal que trata de maximizar R-cuadrado al minimizar la suma de los cuadrados de las diferencias entre la variable bajo estudio y el modelo generado. En particular, la regresión implementada es la función OLS de la librería Statsmodels [37].

En segundo lugar, se empleará un modelo RLM (Robust Lineal Model). A diferencia del modelo ordinario, este se trata de un modelo iterativo que reduce el efecto producido por los valores atípicos al implementar unas funciones de peso. Como estimador usa la función de peso Huber T y como escala hace uso de la desviación absoluta de la mediana. La regresión implementada se trata de la función RLM de la librería Statsmodels y en particular de su primer modelo [38].

Para comprobar las variables independientes, se han chequeado múltiples funciones con cada una de las variables en busca de maximizar R-cuadrado y procurar los mejores resultados. Para el método RLM, se utiliza también su función peso que reduce el efecto de los valores anormales para calcular R-cuadrado, por lo que realmente su interpretación no es exactamente la misma que el R-cuadrado de una OLS.

Se ha comenzado siempre suponiendo que las relaciones con la variable dependiente RLC serían lineales y, a continuación, se han probado funciones polinomiales, exponenciales y logarítmicas de distinto orden y tipo. Por ello, para poder seguir empleando las regresiones lineales, se han implementado las funciones directamente

sobre los datos. Por ejemplo, para probar si la relación era cuadrática, se ha hecho el cuadrado de la variable y se ha introducido en la regresión lineal.

Si tras comprobar las diferentes funciones, se sigue observando que alguna variable independiente no presenta ningún efecto notable en el modelo de la regresión, esta variable queda descartada para su uso. Para realizar esta selección se observa el término de  $P > |t|$  obtenido por las regresiones. Esta comparación con el estadístico t indica la probabilidad de que la variable independiente no tenga efecto realmente en la variable dependiente. Es decir, un valor de 0.40 indicaría con un 40% de probabilidad que esa variable realmente no afecte a la variable dependiente.

### Ecuaciones obtenidas

La interpretación de las ecuaciones obtenidas es bastante sencilla con el uso de las siguientes tablas. La primera columna corresponde con el valor del cada coeficiente de cada variable. La segunda se trata del error estándar. La tercera, el estadístico t. La cuarta, la probabilidad de que la variable no afecte a la variable dependiente. Las dos últimas columnas representan el intervalo que de los coeficientes con un 95% de probabilidad.

Así pues, para este único periodo de mediciones de la inductancia se obtienen los siguientes resultados.

	coef	std err	t	P> t	[0.025	0.975]	OLS
const	1.109e+04	1.206	9199.694	0.000	1.11e+04	1.11e+04	
T (°C)	8.9082	0.038	232.103	0.000	8.833	8.983	R-Cuadrado
Rh (%)	-0.9974	0.005	-213.547	0.000	-1.007	-0.988	
SYM-H (nT)	-0.0021	0.004	-0.594	0.553	-0.009	0.005	
N (cps)	-0.0050	0.007	-0.730	0.466	-0.019	0.008	0.889888

	coef	std err	z	P> z	[0.025	0.975]	RLM
const	1.108e+04	0.657	1.69e+04	0.000	1.11e+04	1.11e+04	
T (°C)	9.5696	0.021	457.650	0.000	9.529	9.611	R-Cuadrado
Rh (%)	-1.1156	0.003	-438.400	0.000	-1.121	-1.111	
SYM-H (nT)	-0.0025	0.002	-1.326	0.185	-0.006	0.001	
N (cps)	-0.0029	0.004	-0.783	0.433	-0.010	0.004	0.962957

Tabla 2. Regresiones básicas inductancia sin corregir

Mirando los datos sin corregir que presuponen relaciones lineales y no se ha aplicado ninguna función, se aprecia que respecto a los coeficientes para cada variable, el efecto de la temperatura es positivo con un valor de 8.9082 y 9.5696 H/°C para OLS y RLM correspondientemente. El siguiente coeficiente más significativo es la humedad relativa con un orden de magnitud menos. No obstante, el SYM-H y el número de cuentas de neutrones no parecen estadísticamente significativos ya que tienen una magnitud muy pequeña y su error estándar es incluso mayor. También al comparar con el estadístico t, se aprecia que la probabilidad de que no afecte a la variable dependiente es muy grande, con una probabilidad del 18.5% y 43.3% para cada variable del RLM.

Los valores de R-cuadrado son más que aceptables. Para el OLS el valor es de 0.889888, indicando que el modelo generado se aproxima en gran medida a los valores medidos de la inductancia. No obstante, al implementar el RLM se aprecia un aumento significativo de R-cuadrado alcanzando valores de 0.962957. Esto es un claro indicador de la presencia de numerosos valores atípicos. Para corregir estos valores atípicos y puesto que se ha visto en la Figura 5 que parece existir un periodo transitorio inicial muy prolongado, se ha decidido eliminar las primeras 20 horas de mediciones.

	coef	std err	t	P> t	[0.025	0.975]	OLS
const	1.107e+04	0.582	1.9e+04	0.000	1.11e+04	1.11e+04	R-cuadrado  0.979550
T (°C)	9.6906	0.019	522.380	0.000	9.654	9.727	
Rh (%)	-1.1841	0.002	-498.234	0.000	-1.189	-1.179	
SYM-H (nT)	0.0011	0.002	0.705	0.481	-0.002	0.004	
N (cps)	-0.0024	0.003	-0.767	0.443	-0.009	0.004	

	coef	std err	z	P> z	[0.025	0.975]	RLM
const	1.107e+04	0.606	1.83e+04	0.000	1.11e+04	1.11e+04	R-cuadrado  0.982436
T (°C)	9.7922	0.019	507.077	0.000	9.754	9.830	
Rh (%)	-1.2034	0.002	-486.395	0.000	-1.208	-1.199	
SYM-H (nT)	0.0032	0.002	1.950	0.051	-1.56e-05	0.006	
N (cps)	-0.0024	0.003	-0.724	0.469	-0.009	0.004	

Tabla 3. Regresiones básicas inductancia corregido

Al haber eliminado este primer periodo, los valores de R-cuadrado se disparan aumentando en casi una décima para el OLS y alcanzando el 0.979550. En comparación, el RLM también mejora un poco los resultados con un valor 0.982436 pero comparativamente solo tiene una diferencia de tres milésimas respecto al OLS, por lo que la presencia de valores atípicos parece ya bastante reducida.

Sin embargo, pese a haber eliminado estos valores transitorios, la significancia del SYM-H y el número de cuentas por segundo es también reducida. Para el modelo lineal ambas se encuentran en torno al 44%, mientras que en el RLM el SYM-H disminuye notablemente hasta tan solo el 5%, el número de neutrones se mantiene en el 46%. Esto podría indicar que todavía hay algunos valores atípicos que podrían afectar al SYM-H y su posible efecto en las mediciones de la inductancia. Adicionalmente, el valor del coeficiente del SYM-H con un valor de 0.0032 para el RLM se encuentra tres órdenes de magnitud por debajo del de la temperatura o la humedad relativa y su desviación estándar es del mismo orden, 0.002. Esto, combinado con la precisión del instrumental de 0.1%, podría indicar que el SYM-H no tiene un efecto aparente en las medidas de inductancia.

### 3.3.3. Comprobación de las regresiones y los modelos

#### Estudio de la linealidad del modelo

Si el modelo generado se debe a que realmente existe una relación lineal entre variables independientes y la dependiente, los valores predichos por este modelo se ajustarán a una diagonal si se representan junto a los valores medidos. Es decir, en una gráfica de valores medidos vs predichos, los puntos obtenidos se distribuirán de manera aleatoria en torno a una línea diagonal que indica una relación de 1 a 1.

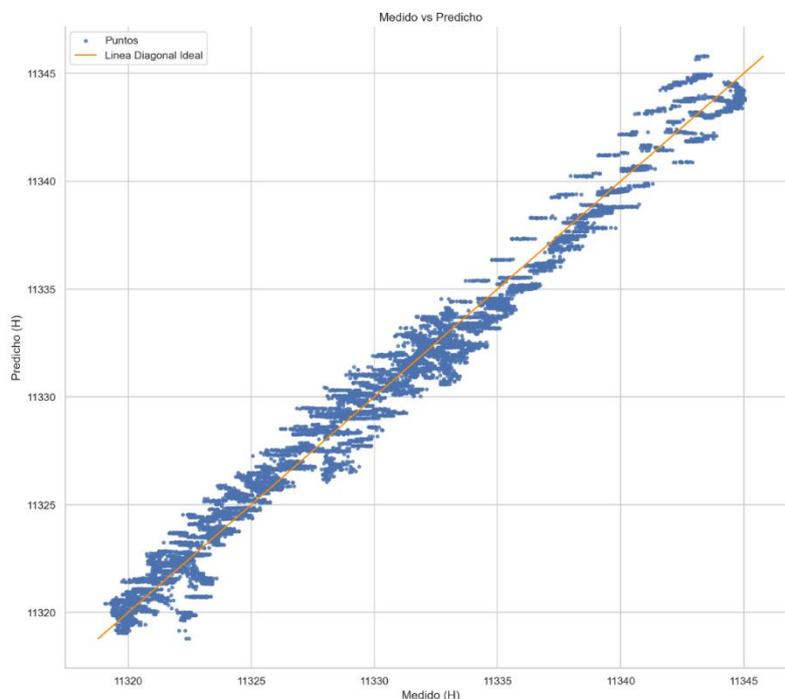


Figura 6. Mediciones vs predicciones OLS para inductancia corregida

Comparando los puntos generados con la diagonal que indicaría una relación ideal, estos se distribuyen más o menos aleatoriamente en torno a esta. No obstante, a partir de los 113335 H empiezan a distinguirse múltiples grupos de mediciones segmentados que indican que puede haber algún problema con la linealidad del modelo. Las líneas horizontales y grupos que se aprecian surgen debido a que la resolución de la medición de la temperatura es de solo 0.1 °C y es la variable que presenta un mayor coeficiente en el modelo.

### Estudio de los residuales

Los residuales representan la desviación de las mediciones reales con respecto al modelo generado. Para comprobarlos se realizarán dos procedimientos. En una primera instancia se representarán los residuales de los modelos OLS para observar si se cumple la homocedasticidad de estos, es decir, si se distribuyen de manera aleatoria para todas las mediciones tal y como sería esperable o, si por el contrario, parece seguir alguna clase de tendencia en algún momento. Tras esto, se hará uso del test de Anderson para comprobar que los residuales siguen una distribución normal como cabría imaginar.

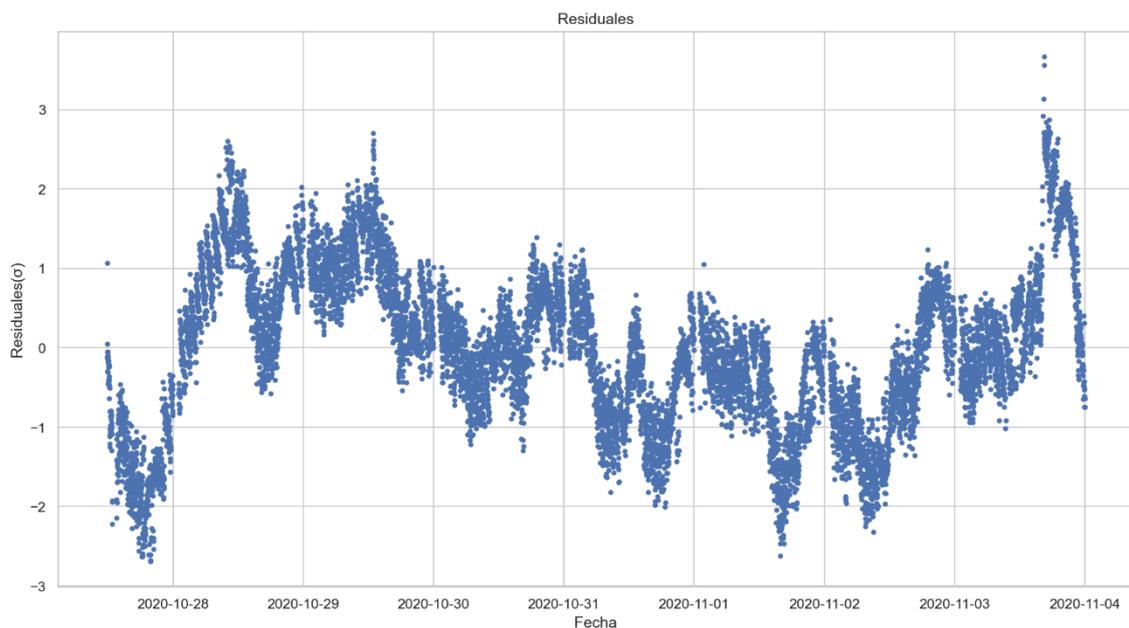


Figura 7. Residuales OLS inductancia corregidos

Con esta figura se puede apreciar que claramente los residuales de la inductancia no cumplen el principio de homocedasticidad, ya que no se distribuyen de manera aleatoria

en torno al 0, sino que parecen seguir alguna clase de relación o tendencia a lo largo del periodo de mediciones. Si se compara con la Figura 4, en la que se representaba la variación temporal de la inductancia y la temperatura, esta gráfica de los residuales parece seguir la misma forma e incluso tendencias, por lo que se presupone que realmente la función de temperatura no es lineal.

No obstante, se han probado múltiples y numerosas funciones de la temperatura y el resto de las variables, desde logaritmos y polinomios hasta funciones hiperbólicas y funciones no monótonas y con todas ellas se ha probado a centrar los datos y estandarizarlos sin ninguna clase de resultado fructífero. También se han probado combinaciones de funciones por si era un efecto conjunto de varias variables. Con todas estas pruebas, se han obtenido resultados muy similares a los residuales recién mostrados.

En la documentación de la inductancia [30], no se ha encontrado ninguna definición o característica de cómo varía esta con la temperatura. Desde la literatura se sabe que en muchos casos esta relación se rige por funciones no monotónicas y que, por lo tanto, depende de qué en rango de temperatura se encuentre, la inductancia aumentará o disminuirá con esta. Es más, al comprobar la correlación de la inductancia con la temperatura, se obtienen valores de 0.62 para los índices de Pearson y Spearman. La correlación es moderadamente fuerte, pero aun así, tan solo el 0.62 para Spearman indica que no es monotónica en gran parte de las mediciones.

#### Estudio de los de los factores de inflación de la varianza

El factor de inflación de la varianza (FIV) es una medida estadística que representa la multicolinealidad de las variables empleadas en una OLS. Se basa en el cálculo de en qué medida se ve afectada la varianza de los coeficientes debido a la colinealidad. Este FIV se calcula para cada variable independiente y representa cuánta colinealidad tiene dicha variable con el resto. De este modo, se comprobarán todas las variables bajo estudio para observar si existe multicolinealidad entre ellas. En caso de que se dé algún caso extremo, dicha variable debería quedar descartada para el estudio, ya que, pese a que la multicolinealidad no afecta al poder predictivo del modelo, sí que afecta a los coeficientes.

T (°C): 1.09	T (°C): 1.09
Rh (%): 1.38	Rh (%): 1.38
SYM-H (nT): 1.31	SYM-H (nT): 1.31
N (cps): 1.00	

*Tabla 4. FIV periodo 1 sin corregir*

T (°C): 1.06	T (°C): 1.06
Rh (%): 1.27	Rh (%): 1.26
SYM-H (nT): 1.23	SYM-H (nT): 1.23
N (cps): 1.00	

*Tabla 5. FIV periodo 1 corregido*

Durante este periodo de mediciones, no se observa ninguna clase de multicolinealidad, ya que de normal se emplea como valor crítico de inflación 10 para indicar posible multicolinealidad y 100 para indicar que hay multicolinealidad prácticamente seguro. Puesto que la inflación introducida por cada variable tanto para el rango corregido como para el no corregido es prácticamente 1, se puede confirmar que las variables no presentan multicolinealidad para este periodo.

#### Estudio de los coeficientes de correlación

El análisis de los coeficientes de correlación es un método complementario para evaluar la relación entre las variables independientes. A diferencia del VIF, las correlaciones se calculan entre variables y representan la linealidad que existe entre ellas, como se comentará a continuación. En particular, se ha hecho uso del coeficiente de correlación de Spearman y de Pearson. Mientras que el de Spearman se basa en la correlación de los rangos y por tanto evalúa si las variables mantienen una relación monótonica, el coeficiente de Pearson evalúa la relación lineal entre las variables. Un valor de 1 indica relación directa completa y un valor de -1, inversa. El 0 indica que no existe correlación alguna.

Aunque en principio todas las variables ambientales y cosmológicas son independientes entre ellas y por lo tanto la correlaciones o la posible colinealidad deberían darse meramente por casualidad, se realizará este análisis por si se observa alguna tendencia que pudiera indicar que una variable cosmológica pudiera estar afectando al instrumental de medida dentro de la CFM. También se realizará por si algún fenómeno o anomalía se da cuando ciertas variables tienen o no correlación.

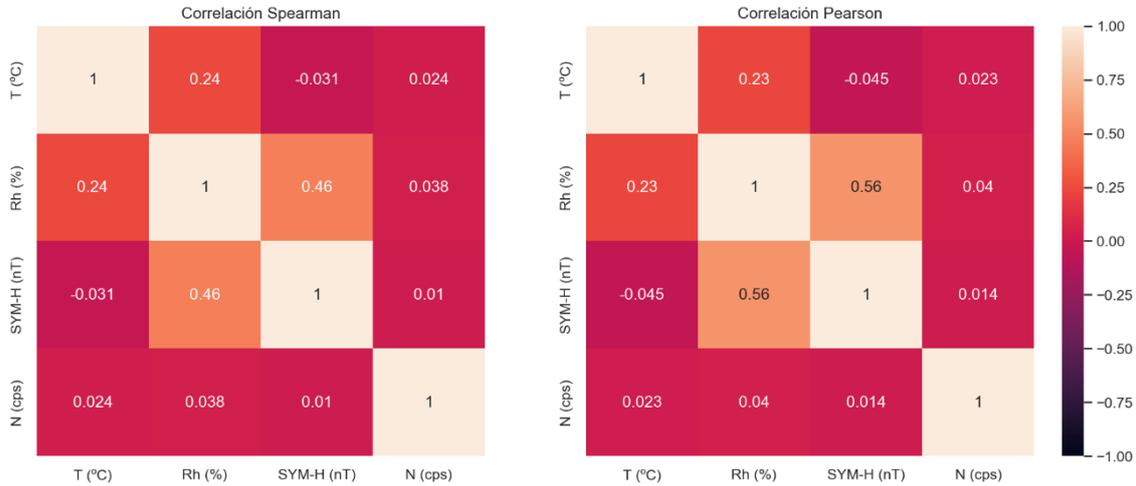


Figura 8. Coeficientes de correlación inductancia sin corregir

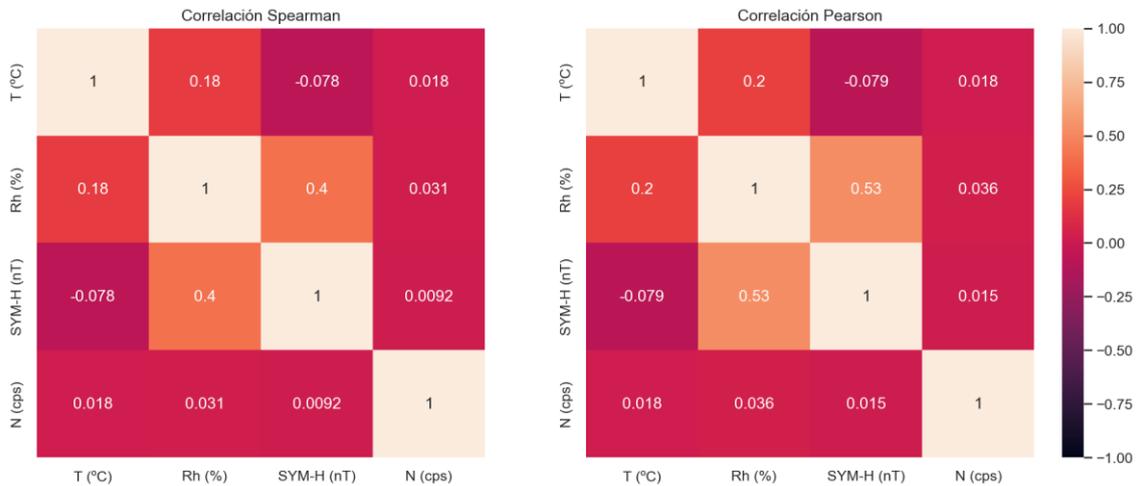


Figura 9. Coeficientes de correlación inductancia corregidos

Al representar los coeficientes de correlación entre las variables dependientes no se puede apreciar gran diferencia entre haber corregido los datos y no. Puesto que en principio las variables deberían ser independientes unas de las otras, los términos que no pertenecen a las diagonales de las gráficas deberían ser cercanos a 0. La variable que presenta menos correlación con el resto es el número de cuentas de neutrones, que tal y como se ha podido comprobar con la gráfica global (Figura 5) parece comportarse

como un ruido blanco de manera aleatoria. La temperatura presenta también unos índices bajos de aproximadamente 0.2 y -0.08 con la humedad relativa y el SYM-H. El único resultado destacable es que la humedad relativa y el SYM-H presentan un índice significativo mayor de 0.4 para Spearman y mayor de 0.5 para Pearson. No obstante, ambas variables deberían ser independientes, puesto que la humedad relativa depende de las condiciones atmosféricas locales y la cantidad de agua que tenga el aire y no debiera tener relación con el índice geomagnético y más cuando este se mide en una escala global, como se ha comentado en el apartado 2.3. Esta posible correlación se tendrá en consideración para el resto del estudio.

Cabe comentar que, pese a que se obtenga un índice de correlación elevado, no es representativo de que las variables estén realmente vinculadas y tengan dependencia entre ellas, sino que en gran parte de la serie temporal aumentan monótonamente para el índice de Spearman, y tienen una relación cercana a la lineal para el índice de Pearson. Es decir, estos índices no indican causalidad o dependencia entre variables.

#### 3.3.4. Regresiones avanzadas

Después de comprobar estos primeros resultados en los que se apreció cierta correlación entre las variables, se decidió incorporar alguna regresión avanzada capaz de reducir el efecto de la multicolinealidad y obtener así modelos matemáticos más realistas y precisos. Se van a implementar, como se detallará más tarde, dos regresiones más: PLS y Elastic Net. No obstante, como se observará más tarde con el estudio del resto de las variables eléctricas y tras comprobar nuevamente la posible multicolinealidad y correlaciones entre variables, se aprecia que esta solamente se da en algunos casos y que en cada periodo de observaciones se observan unas correlaciones diferentes. Esto indica que realmente las variables ambientales y cosmológicas son independientes entre ellas y cualquier correlación aparente es únicamente casual.

De este modo, estos modelos avanzados solo aportan mejores resultados cuando la multicolinealidad y correlación entre variables es muy alta. Debido a esto, ya que en la inductancia no se ha podido establecer un modelo matemático apropiado y la multicolinealidad es mínima, como se acaba de comentar al analizar el FIV y los índices de correlación, se explicarán estas regresiones y se ejemplificarán con el tercer periodo de mediciones de la resistencia en su apartado correspondiente (3.4.4).

### 3.3.5. Conclusiones del análisis de la inductancia

El estudio de la inductancia ha resultado insatisfactorio hasta cierto punto puesto que no se ha podido determinar con confianza el modelo matemático de esta. Pese a que se han comprobado e implementado numerosos modelos y expresiones, la comprobación que ha determinado que estos modelos no eran aptos ha sido la homocedasticidad de los residuales (como el comprobado con la Figura 7). Aunque la regresión lineal simple OLS ha procurado unos valores de R-cuadrado de 0.979550 que parece indicar que el modelo lineal más básico sí que se ajusta en gran medida a los valores reales, esto no se puede asegurar, como se ha comentado. Este desajuste en temperatura e inductancia parece ser el causante de las anomalías de los residuales, no haber podido encontrar ninguna función o relación que lo justifique es en sí mismo sorprendente.

Finalmente, ni el SYM-H ni el número de cuentas de neutrones por minuto parecen afectar significativamente a la inductancia. Directamente, las cuentas de neutrones presentaban una probabilidad de no tener efecto en el modelo y la inductancia elevados (como se indican en los modelos lineales Figura 8 y Figura 9). Mientras que esta probabilidad era de tan solo del 5% para el SYM-H, su desviación estándar de igual magnitud que su coeficiente tampoco representa un resultado lo suficientemente conclusivo como para poder asegurar que afecta a las mediciones.

## 3.4. Estudio de la resistencia

---

Las mediciones de resistencia dentro de las CFM se encuentran agrupadas en tres periodos de tiempo diferentes debidos a problemas con el suministro eléctrico del laboratorio. El primer periodo va desde las 09:12 del día 14/10/2020 hasta las 11:30 del día 16/11/2020. El segundo, desde las 10:27 del día 19/10/2020 hasta las 21:59 del día 20/11/2020. El tercero desde las 11:36 del día 21/10/2020 hasta las 11:34 del día 22/11/2020.

## 3.4.1. Gráficas globales

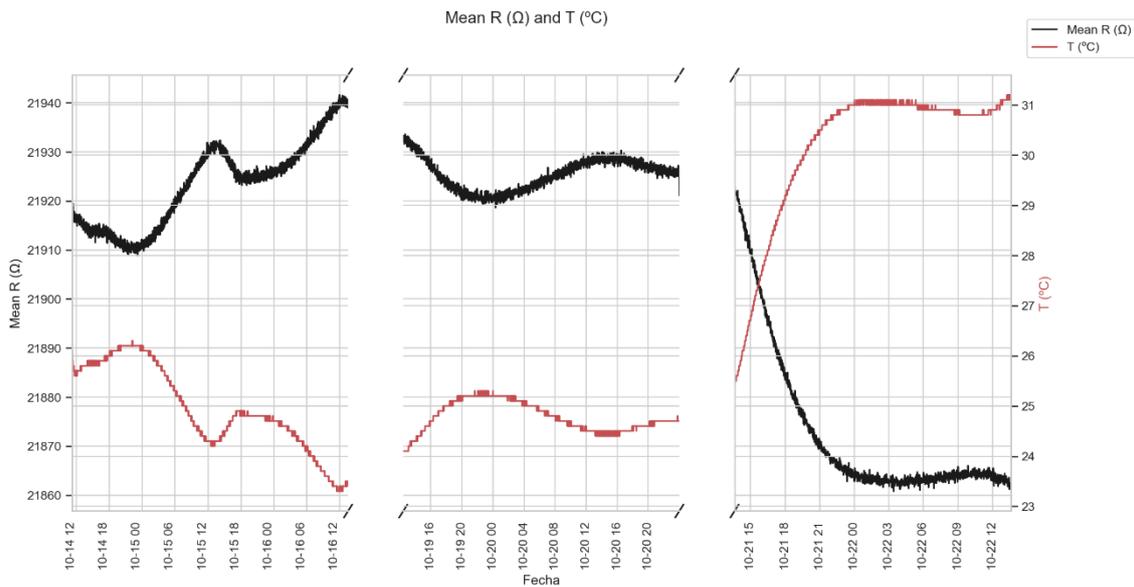


Figura 10. Serie temporal resistencia y temperatura

Únicamente con esta gráfica de la evolución temporal de la temperatura y la resistencia se puede apreciar que ambas están claramente ligadas. Estas dos variables presentan un comportamiento lineal e inverso como se observa al ser prácticamente simétricas respecto a un eje horizontal. En este caso, los ciclos de temperatura día-noche son un poco más complicados de apreciar puesto que los periodos no abarcan muchos días o incluso solo abarcan un día entero. Mientras que los dos primeros periodos la temperatura se mantiene relativamente constante entorno a los 25 °C, en el último periodo hay una repentina subida de temperatura hasta los 31 °C. Este hecho no parece que influya en el comportamiento esperado de la resistencia. La resistencia, por su parte, se mantiene dentro del rango de las especificaciones a temperatura ambiente (22 kΩ con una tolerancia del 2%).

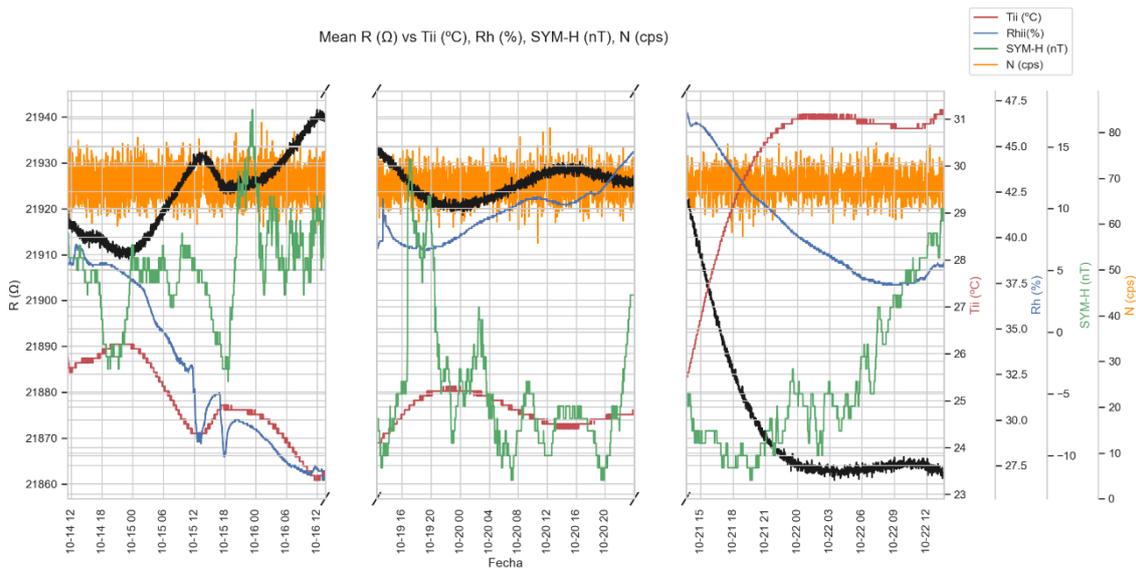


Figura 11. Serie temporal resistencia, temperatura, humedad relativa, índice geomagnético y cuentas de neutrones

En esta segunda gráfica con todas las variables bajo estudio no se puede apreciar ninguna posible relación con la variación de la resistencia, excepto por la temperatura ya explicada. Ninguna de las variables parece introducir tampoco una mayor incertidumbre en las medidas, puesto que no se observa ninguna oscilación anormal de la resistencia.

En estos 3 periodos la humedad relativa presenta también diferentes tendencias. En el primer periodo disminuye desde el 38% hasta el 27%. En el segundo aumenta desde el 40% hasta casi el 45%. En el tercero disminuye desde el 47% hasta el 39%. En conjunto estos valores de humedad entrarían dentro de unas condiciones óptimas para la instrumentación y, en particular, para los sensores de humedad. Si se compara con la evolución de la resistencia o de la temperatura, no se percibe ninguna relación ni posible influencia sobre la resistencia en particular.

En estos periodos de muestreos, el SYM-H muestra también un comportamiento errático. En el primer periodo oscila en torno a 5 nT. En el segundo tiene un gran pico seguido de una estabilización en torno a los -7 nT. En el último periodo, por el contrario, sí que se aprecia un aumento gradual hasta alcanzar los 10 nT. En comparación con los datos de inductancia, en estos tres periodos ha habido valores positivos y negativos del SYM-H fluctuando sobre el nivel de referencia indicado con el 0 nT. Estos valores contrastan con los de anteriores estudios [1], ya que en el 2020 había un mínimo de actividad solar.

Por último, el número de cuentas de neutrones, como con anterioridad, ha mostrado un comportamiento a simple vista aleatorio semejante al ruido blanco y oscilando en torno a las 69 cuentas por segundo también.

### 3.4.2. Regresiones básicas

En este caso del estudio de la resistencia, un modelo lineal en todas las variables independientes ha sido el que ha obtenido mejores resultados. Si se observa el término de  $P > |t|$  para diferentes funciones con las cuentas por segundo, no se ha podido obtener ningún caso en que la probabilidad de que esta variable afecte realmente al modelo sea notoria. Mientras, el resto de las variables dependientes de manera lineal tienen unas probabilidades en general mayores al 94% de afectar a la resistencia.

#### Ecuaciones obtenidas

Para el **primer periodo** de mediciones de la resistencia, se observan los siguientes resultados al aplicar un modelo lineal con todas las variables.

	coef	std err	t	P> t	[0.025	0.975]	
const	2.218e+04	1.123	1.98e+04	0.000	2.22e+04	2.22e+04	<b>OLS</b>
T (°C)	-10.1738	0.054	-186.905	0.000	-10.281	-10.067	R-cuadrado
Rh (%)	-0.0205	0.011	-1.952	0.051	-0.041	9.02e-05	
SYM-H (nT)	-0.0411	0.005	-8.856	0.000	-0.050	-0.032	
N (cps)	-0.0040	0.006	-0.714	0.475	-0.015	0.007	0.988693

	coef	std err	z	P> z	[0.025	0.975]	
const	2.218e+04	1.037	2.14e+04	0.000	2.22e+04	2.22e+04	<b>RLM</b>
T (°C)	-10.1499	0.050	-201.967	0.000	-10.248	-10.051	R-cuadrado
Rh (%)	-0.0273	0.010	-2.815	0.005	-0.046	-0.008	
SYM-H (nT)	-0.0416	0.004	-9.696	0.000	-0.050	-0.033	
N (cps)	0.0002	0.005	0.042	0.966	-0.010	0.010	0.991774

Tabla 6. Regresiones básicas periodo 1 resistencia sin corregir

### 3. Análisis de los resultados

	coef	std err	t	P> t	[0.025	0.975]	OLS
const	2.217e+04	0.944	2.35e+04	0.000	2.22e+04	2.22e+04	R-cuadrado 0.993392
T (°C)	-9.9085	0.050	-200.031	0.000	-10.006	-9.811	
Rh (%)	-0.0293	0.010	-2.907	0.004	-0.049	-0.010	
SYM-H (nT)	0.0016	0.005	0.346	0.730	-0.008	0.011	

	coef	std err	z	P> z	[0.025	0.975]	RLM
const	2.217e+04	0.968	2.29e+04	0.000	2.22e+04	2.22e+04	R-cuadrado 0.994329
T (°C)	-9.9115	0.051	-194.991	0.000	-10.011	-9.812	
Rh (%)	-0.0312	0.010	-3.020	0.003	-0.051	-0.011	
SYM-H (nT)	0.0007	0.005	0.148	0.882	-0.009	0.010	

Tabla 7. Regresiones básicas periodo 1 resistencia corregido

En este caso se han aplicado varias correcciones para obtener el modelo de este primer periodo. Primeramente, se ha eliminado del estudio la variable de las cuentas por segundo de neutrones. A continuación, se han eliminado ciertos intervalos que presentaban anomalías en los residuales, como se mostrará en el apartado siguiente. Los datos que se han omitido para generar estos modelos corregidos son los primeros 20 minutos de mediciones, un periodo de 8 horas a partir de las 12 del día 15 y los últimos 100 minutos de mediciones el día 16.

Respecto a los resultados, se puede apreciar como el coeficiente de la temperatura se encuentra en el límite de las especificaciones y llega incluso a sobrepasarlo en pequeña medida con unos valores un poco superiores a  $-10 \Omega/^{\circ}\text{C}$  en los casos sin corregir y sobre  $-9.9$  al corregirlos ( $-9.9$  era el máximo para las especificaciones de la resistencia). El resto de las variables juegan un rol mucho más pequeño en las variaciones de resistencia con coeficientes de valores de  $-0.0205$  para la humedad relativa OLS sin corregir y casi el doble con  $-0.0411$  para el SYM-H. No obstante, lo más interesante de estos resultados es que al omitir los periodos y al corregir la regresión, el SYM-H pasa a no tener un efecto aparente sobre el modelo con una probabilidad del 73% para el caso OLS y del 88.2% para el RLM. De esta manera surge la cuestión de si estas anomalías y, principalmente la del periodo de 8 horas del día 16 podrían ser causadas precisamente por el efecto del índice geomagnético.

Los errores estándar solo se reducen en pequeña medida al corregir los datos y con los modelos robustos.

### 3. Análisis de los resultados

Respecto a los valores de R-cuadrado, en todos los casos se trata de valores notablemente altos, mayores en todos los casos al 0.998 (el 99.8%). Al corregir los datos estos valores aumentan en pequeña medida hasta el 0.993 y el 0.994.

Para el **segundo periodo** de mediciones de la resistencia, se observan los siguientes resultados al aplicar un modelo lineal con todas las variables.

	coef	std err	t	P> t	[0.025	0.975]	OLS
const	2.22e+04	1.876	1.18e+04	0.000	2.22e+04	2.22e+04	R-cuadrado 0.946322
T (°C)	-10.8566	0.064	-170.808	0.000	-10.981	-10.732	
Rh (%)	-0.1444	0.013	-10.732	0.000	-0.171	-0.118	
SYM-H (nT)	0.0271	0.003	8.032	0.000	0.021	0.034	
N (cps)	0.0075	0.006	1.355	0.176	-0.003	0.018	

	coef	std err	z	P> z	[0.025	0.975]	RLM
const	2.22e+04	1.954	1.14e+04	0.000	2.22e+04	2.22e+04	R-cuadrado 0.952787
T (°C)	-10.8808	0.066	-164.285	0.000	-11.011	-10.751	
Rh (%)	-0.1407	0.014	-10.038	0.000	-0.168	-0.113	
SYM-H (nT)	0.0282	0.004	8.015	0.000	0.021	0.035	
N (cps)	0.0059	0.006	1.024	0.306	-0.005	0.017	

Tabla 8. Regresiones básicas periodo 2 resistencia sin corregir

	coef	std err	t	P> t	[0.025	0.975]	OLS
const	2.22e+04	1.830	1.21e+04	0.000	2.22e+04	2.22e+04	R-cuadrado 0.946275
T (°C)	-10.8584	0.064	-170.840	0.000	-10.983	-10.734	
Rh (%)	-0.1443	0.013	-10.728	0.000	-0.171	-0.118	
SYM-H (nT)	0.0271	0.003	8.017	0.000	0.020	0.034	

	coef	std err	z	P> z	[0.025	0.975]	RLM
const	2.22e+04	1.904	1.17e+04	0.000	2.22e+04	2.22e+04	R-cuadrado 0.952707
T (°C)	-10.8819	0.066	-164.562	0.000	-11.012	-10.752	
Rh (%)	-0.1407	0.014	-10.049	0.000	-0.168	-0.113	
SYM-H (nT)	0.0281	0.004	7.998	0.000	0.021	0.035	

Tabla 9. Regresiones básicas periodo 2 resistencia corregido

Al aplicar las regresiones se obtienen unos modelos lineales que no distan mucho de los resultados del periodo 1 pero con ciertas diferencias notables en algunos campos. Los datos corregidos solo se diferencian en que no se incluye el efecto de las cuentas

de neutrones porque no eran significativas, pero como se verá con los residuales y el resto de las comprobaciones, no hay ningún intervalo anómalo a eliminar.

Primeramente, llama la atención como en este periodo los valores de R-cuadrado son menores que los del primero casi en 4 décimas, pero sigue siendo un valor considerablemente alto y significativo. Como los R-cuadrado entre OLS y RLM no distan notablemente, hay un número reducido de valores atípicos. En este periodo, el modelo obtenido no se ajusta tan bien como el anterior a las mediciones reales de resistencia.

Los coeficientes se asemejan a los del periodo pasado, aunque en este caso el de la temperatura con valores de -10.8 se encuentra fuera de las especificaciones de la resistencia (9.9). El coeficiente de la humedad relativa tiene un orden de magnitud menos respecto al periodo pasado, mientras que el del SYM-H es de un orden superior e incluso dos para el RLM con valores de 0.027 - 0.028 y su desviación estándar en este caso es mucho más pequeña proporcionalmente con valores de 0.003 - 0.004.

En este caso, la SYM-H sí que mantiene una probabilidad muy pequeña de no influenciar al modelo (menor de 0.0%). Al incluir este término, el valor de R-cuadrado aumenta tan solo en 0.0018 y 0.0009 en OLS y RLM. Por otra parte, el número de neutrones al igual que previamente, no es significativo con una probabilidad del 17.6% y el 30.6% con los modelos OLS y RLM respectivamente. Por este motivo para la corrección se ha descartado esta variable.

Para el **tercer periodo** de mediciones de la resistencia, se observan los siguientes resultados al aplicar un modelo lineal con todas las variables.

	coef	std err	t	P> t	[0.025	0.975]	
const	2.213e+04	1.962	1.13e+04	0.000	2.21e+04	2.21e+04	<b>OLS</b>
T (°C)	-9.5600	0.036	-267.468	0.000	-9.630	-9.490	R-cuadrado
Rh (%)	0.8005	0.022	36.936	0.000	0.758	0.843	
SYM-H (nT)	0.0370	0.005	6.727	0.000	0.026	0.048	
N (cps)	0.0043	0.006	0.655	0.512	-0.008	0.017	0.997855

	coef	std err	z	P> z	[0.025	0.975]	
const	2.213e+04	1.986	1.11e+04	0.000	2.21e+04	2.21e+04	<b>RLM</b>
T (°C)	-9.5564	0.036	-264.144	0.000	-9.627	-9.485	R-cuadrado
Rh (%)	0.8034	0.022	36.623	0.000	0.760	0.846	
SYM-H (nT)	0.0373	0.006	6.698	0.000	0.026	0.048	
N (cps)	0.0075	0.007	1.139	0.255	-0.005	0.020	0.998145

Tabla 10. Regresiones básicas periodo 3 resistencia sin corregir

	coef	std err	t	P> t	[0.025	0.975]	OLS
const	2.213e+04	1.895	1.17e+04	0.000	2.21e+04	2.21e+04	R-cuadrado
T (°C)	-9.5608	0.036	-267.682	0.000	-9.631	-9.491	0.997854
Rh (%)	0.8000	0.022	36.940	0.000	0.758	0.843	
SYM-H (nT)	0.0369	0.005	6.717	0.000	0.026	0.048	

	coef	std err	z	P> z	[0.025	0.975]	RLM
const	2.213e+04	1.913	1.16e+04	0.000	2.21e+04	2.21e+04	R-cuadrado
T (°C)	-9.5575	0.036	-265.007	0.000	-9.628	-9.487	0.998137
Rh (%)	0.8026	0.022	36.699	0.000	0.760	0.845	
SYM-H (nT)	0.0371	0.006	6.691	0.000	0.026	0.048	

Tabla 11. Regresiones básicas periodo 3 resistencia corregido

En este caso la corrección también ha pasado únicamente por eliminar del análisis el número de cuentas de neutrones, puesto que su probabilidad de no afectar a la resistencia era de un 51.2% y un 25.5% para los modelos OLS y RLM. Estos modelos, presentan el R-cuadrado más elevado de todos los periodos, indicando que el modelo se ajusta en más de un 99.78% respecto a las mediciones reales.

En comparación con los resultados anteriores, el valor del coeficiente de la temperatura es un poco menor, encontrándose dentro de las especificaciones con un valor de -9.5608. Por otra parte, el coeficiente de la humedad relativa presenta una variación anómala, ya que cambia su signo y aumenta notablemente en este periodo. En el periodo anterior tenía un valor de -0.1407 mientras que en este es de 0.8000. En ambos casos parece afectar al modelo con más de un 99,9% de probabilidades y tiene una desviación estándar de un orden de magnitud menos, haciendo que ni siquiera sus intervalos del 95% de fiabilidad se crucen. En este periodo, como se observa en la Figura 11, no se aprecia nada particularmente extraño con la humedad, ya que esta simplemente se reduce de manera casi lineal mientras que la temperatura aumenta de forma aproximadamente logarítmica.

Respecto al SYM-H, se obtiene un coeficiente prácticamente idéntico al periodo anterior. Comparando los 0.0371 de este periodo y 0.0281 del anterior y sus errores estándar de 0.0006 y 0.0004 respectivamente, parece claro indicar que tiene un efecto en el modelo y que este se mantiene más o menos constante con el tiempo. Pese a que esto no implique directamente causalidad, es decir, que el índice geomagnético realmente

influya a la resistencia siguiendo una relación causa-efecto, sí que parece claro que alguna clase de relación parece existir entre ambos.

También cabría destacar que ninguno de los intervalos del 95% de confianza de los coeficientes de temperatura llegan a solaparse, siendo el del segundo periodo el más negativo, seguido por el primero y hasta el tercero. En principio, puesto que las condiciones de las mediciones y de testeo, el equipamiento y la resistencia son las mismas, el coeficiente térmico debería ser el mismo o muy semejante si la resistencia no sufre alguna clase de pérdida de propiedades o envejecimiento.

### 3.4.3. Comprobación de las regresiones y los modelos

#### Estudio de la linealidad del modelo

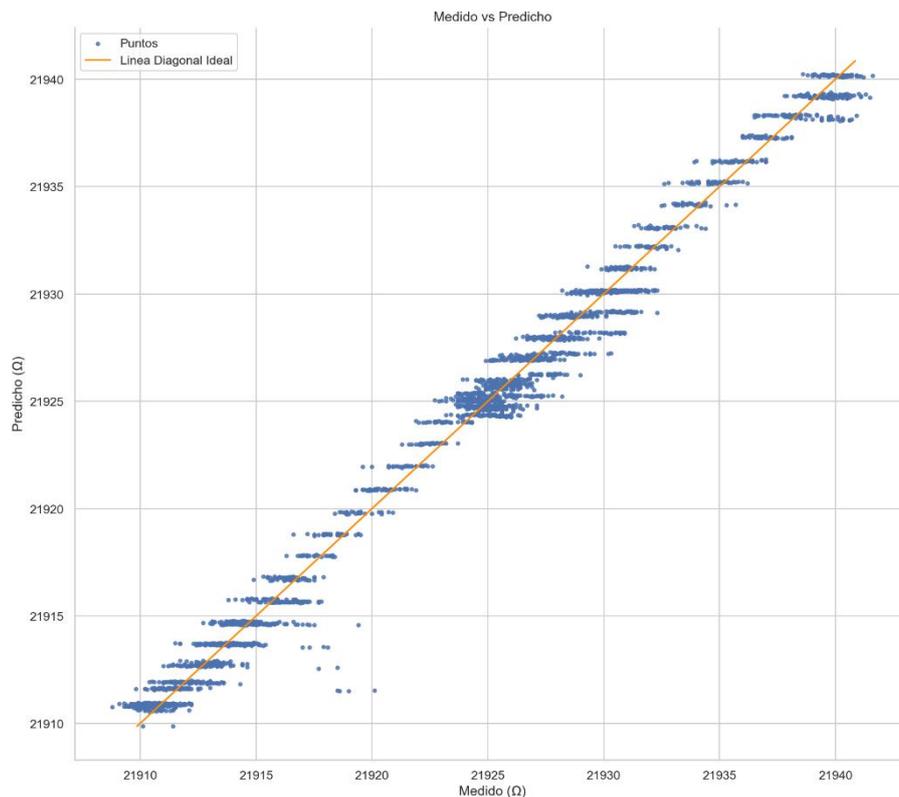


Figura 12. Mediciones vs predicciones OLS para el primer periodo 1 resistencia sin corregir

Para el **primer periodo**, tal y como se puede comprobar con esta gráfica, claramente el modelo OLS obtenido parece distribuirse correctamente respecto a las mediciones reales, ya que ambas parecen distribuirse perfectamente en torno a la diagonal. Los únicos valores anormales son unas mediciones que se salen fuera de la recta entre los valores de 21915 y 21920  $\Omega$ . Estos puntos provienen de los primeros minutos de

mediciones en los que todavía se daba un estado transitorio. No obstante, el equipo ya estaba encendido de antes y se introdujo dentro de la caja, por lo que el estado transitorio no proviene de encender el equipamiento, sino de introducirlo en la CFM.

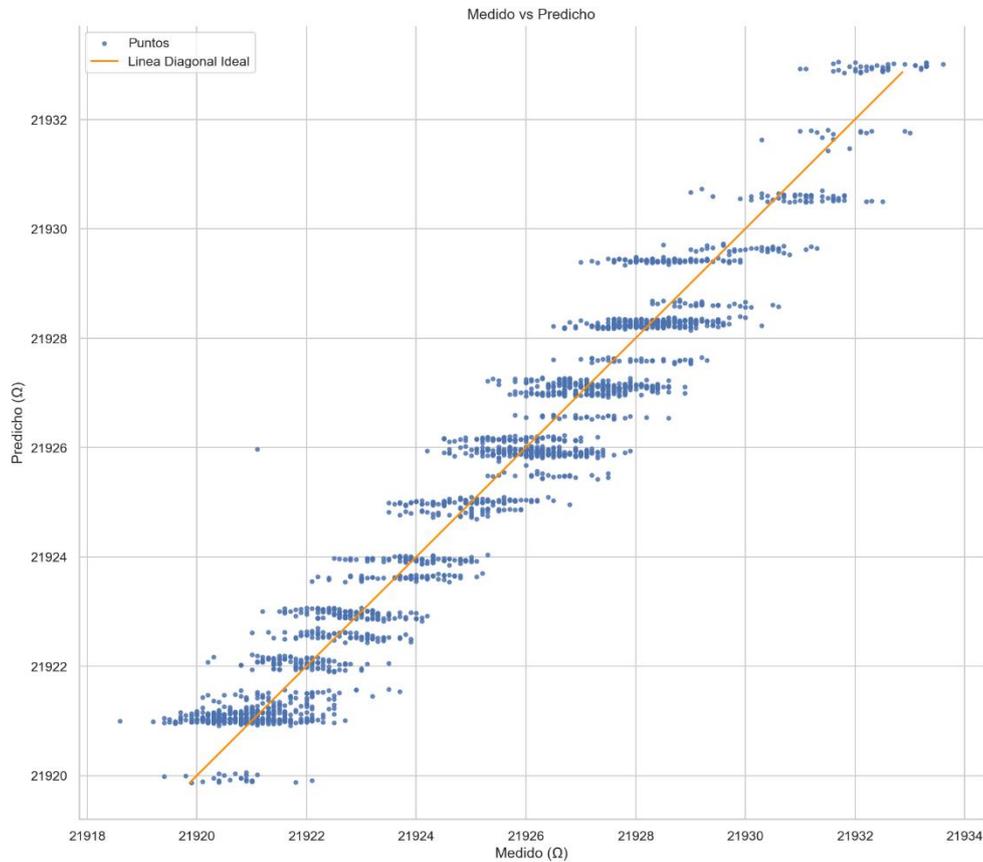


Figura 13. Mediciones vs predicciones OLS para el primer periodo 2 resistencia sin corregir

En el **segundo periodo**, al igual que en el periodo anterior, el modelo OLS y sus predicciones parecen ajustarse en gran medida a los valores reales y se mantiene la linealidad a lo largo de todos los valores de resistencia. No hay ningún grupo de medidas que se alejen claramente del centro de la línea diagonal y parece que se distribuyen de manera más o menos normal y aleatoria en torno a esta. Tal y como se ha comentado, si el sensor de temperatura obtuviese datos con mayor resolución y precisión de temperatura, las líneas horizontales y grupos no serían tan apreciables.

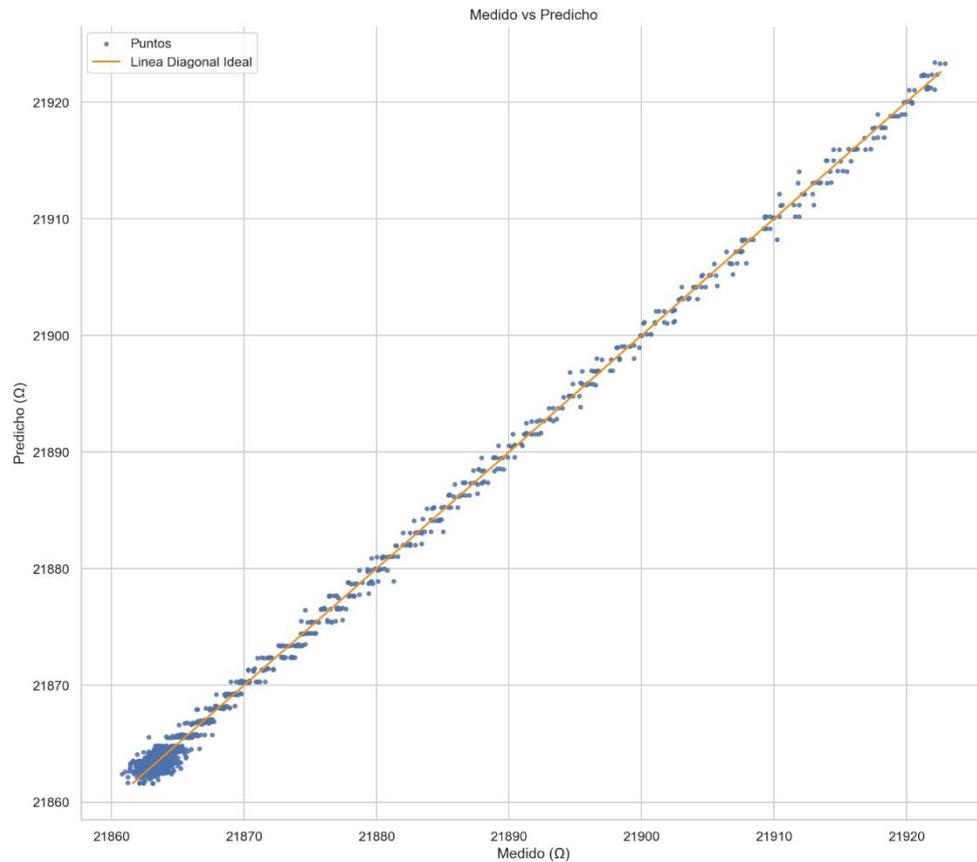


Figura 14. Mediciones vs predicciones OLS para el primer periodo 3 resistencia sin corregir

Para este **tercer periodo**, el modelo también se ajusta en gran medida a las mediciones reales y sigue el principio de linealidad con una distribución aleatoria respecto a la diagonal. Lo único que llama la atención es la concentración de puntos en valores bajos de resistencia, pero esto se debe a que la resistencia se mantiene casi constante durante gran parte del periodo como se aprecia en la Figura 11.

## Estudio de los residuales

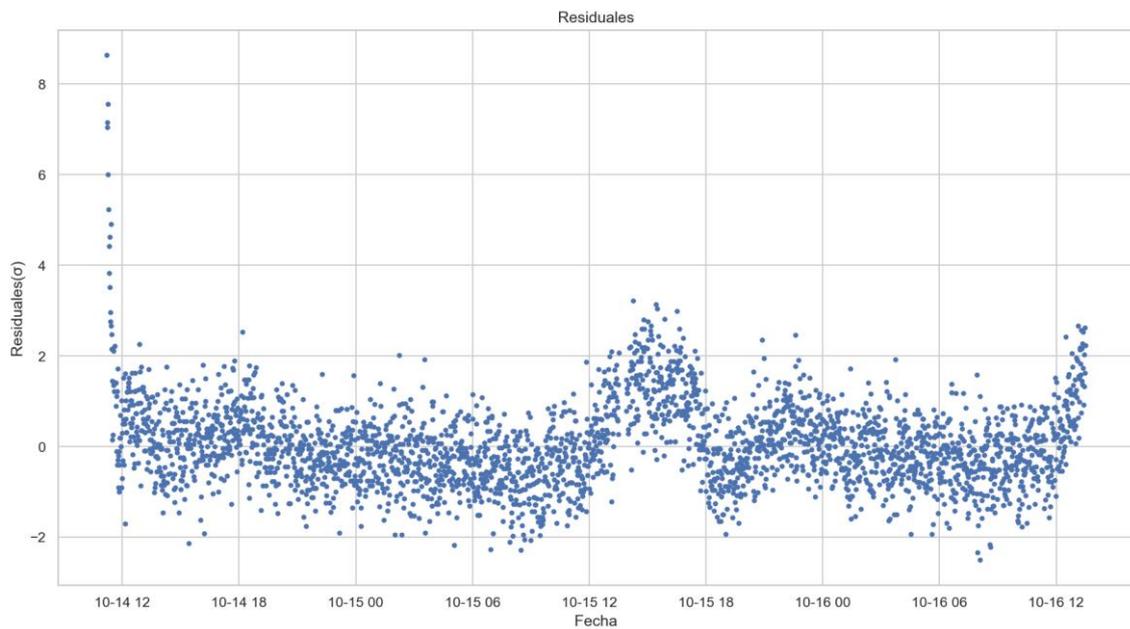


Figura 15. Residuales OLS para el primer periodo 1 resistencia sin corregir

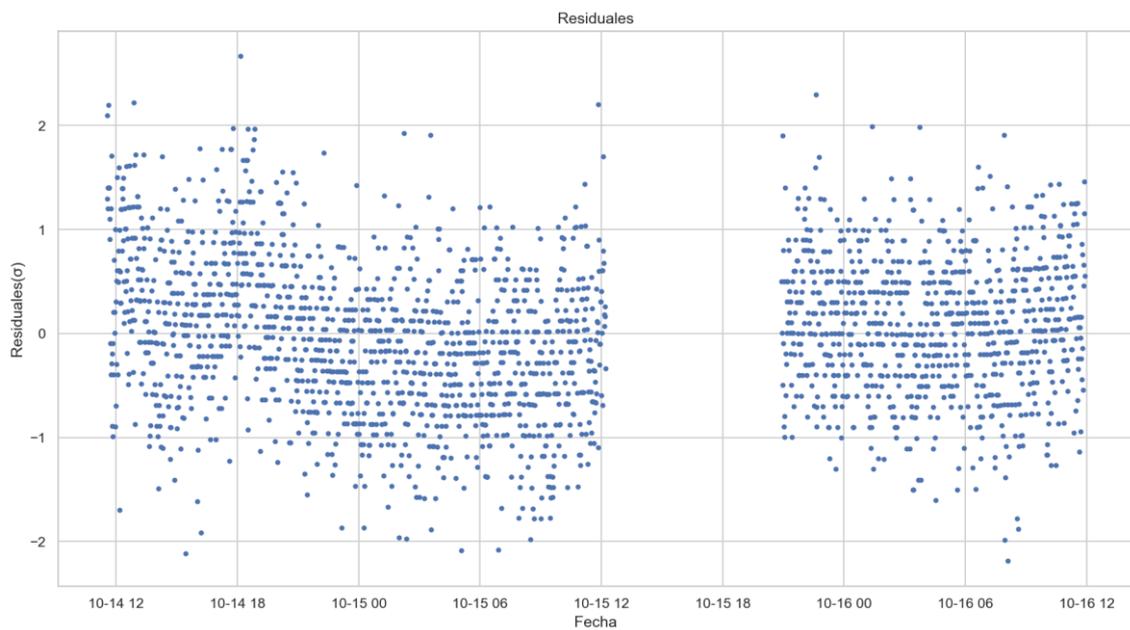


Figura 16. Residuales OLS para el primer periodo 1 resistencia corregidos

Para el **primer periodo** se observa claramente que existen anomalías que incumplen el principio de homocedasticidad de los residuales. Al inicio y al final de las mediciones surgen dos zonas en que los residuales aumentan en gran medida. En particular, las primeras mediciones pueden deberse al estado transitorio del circuito. La zona más preocupante es el pico que se da desde las 12 horas hasta casi las 18 horas del día 15.

Este pico coincide con un valle en las mediciones de temperatura y un comportamiento algo inusual de la humedad relativa que realiza un descenso abrupto seguidos un ascenso, descenso y ascenso igual de inusuales, tal y como se aprecia en la Figura 11. El SYM-H durante este periodo de seis horas desciende de manera bastante constante. Quizás al comportarse tan linealmente en este subperiodo y justamente eliminarlo al realizar la corrección, es el causante de que los modelos OLS y RLM indiquen con tan poca probabilidad que esta variable tenga un efecto significativo en la resistencia, como se ha explicado en el apartado anterior.

Tras eliminar estos periodos extraños, como se ha comentado previamente, se obtiene una distribución de los residuales aparentemente aleatoria y con una probabilidad de más del 99% de tratarse de una distribución normal como se ha comprobado con el test de Anderson.

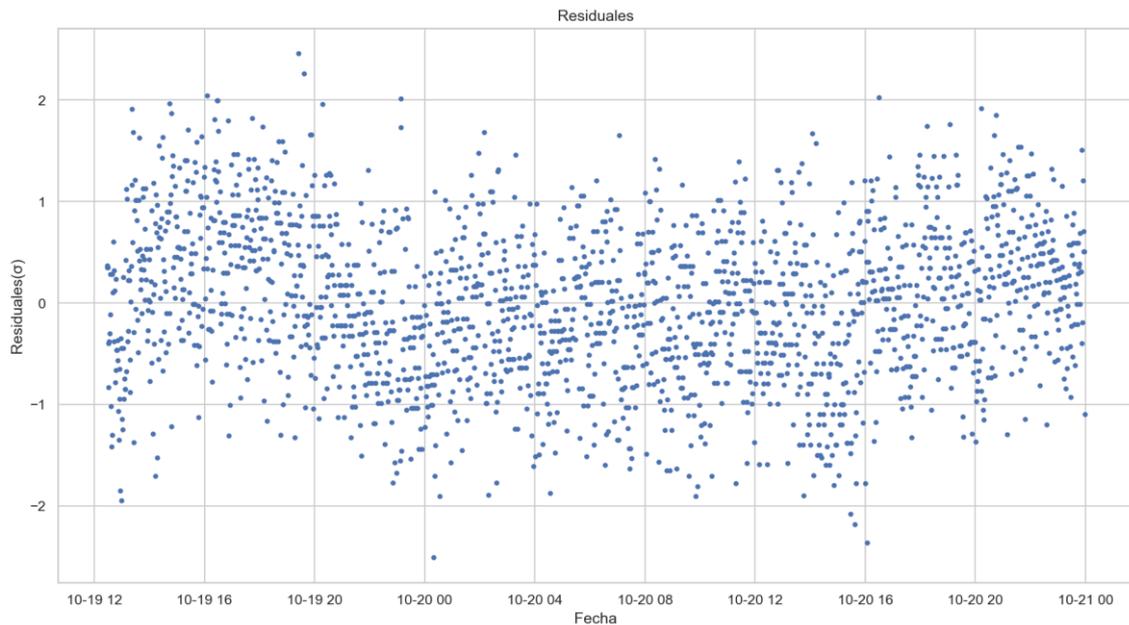


Figura 17. Residuales OLS para el primer periodo 2 resistencia corregidos

Para el **segundo periodo**, se puede apreciar a simple vista que los residuales se distribuyen de manera bastante aleatoria respecto a 0, cumpliendo el principio de homocedasticidad. No se percibe ninguna influencia clara de la serie temporal respecto a la distribución de estos, y mantienen la misma amplitud durante todo el periodo. No hay tampoco ninguna zona con residuales anómalos o concentración de estos. Con el test de Anderson, queda claro que se distribuyen de manera normal con más del 99.9% de probabilidad.

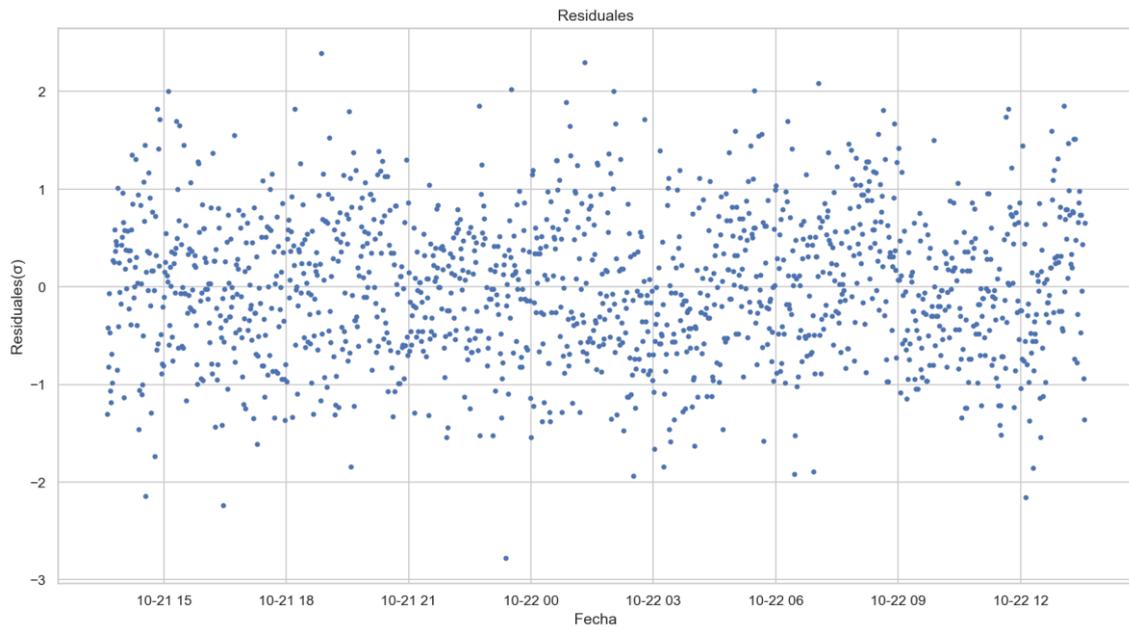


Figura 18. Residuales OLS para el primer periodo 3 resistencia corregidos

Para el **tercer periodo**, se puede observar también que los residuales se distribuyen de manera aleatoria respecto a 0, cumpliendo el principio de homocedasticidad. En este caso, como el periodo de mediciones es de menos de un día, no hay tantos puntos ni una condensación tan aparente. No se percibe ninguna influencia clara de la serie temporal respecto a la distribución de estos, y mantienen la misma amplitud durante todo el periodo. Con el test de Anderson se comprueba también que se distribuyen de manera normal con más del 99.9% de probabilidad

## Estudio de los de los factores de inflación de la varianza

T (°C): 874.47	T (°C): 7.457
Rh (%): 153.80	Rh (%): 7.32
SYM-H (nT): 3.02	SYM-H (nT): 1.20
N (cps): 456.74	

Tabla 12. FIV periodo 1 sin corregir

T (°C): 947.86	T (°C): 8.67
Rh (%): 200.42	Rh (%): 9.53
SYM-H (nT): 4.80	SYM-H (nT): 1.53
N (cps): 453.50	

Tabla 13. FIV periodo 1 corregido

Para el **primer periodo** se observa claramente que, tras eliminar las cuentas de neutrones por segundo, los factores de inflación se reducen claramente llegando a no superar 10 (criterio comúnmente aceptado para discernir posible multicolinealidad). Se ha eliminado esta variable puesto que era la que menos efecto tenía en los modelos lineales.

No obstante, estos resultados contrastan en gran medida con los de la inductancia, ya que se presupone que estas variables deberían tener un comportamiento similar entre ellas al que tenían previamente. En la inductancia, los FIV sin corregir daban en torno a 1, pero en este periodo son mucho mayores alcanzando valores de incluso 947.86 para la temperatura. Aún eliminando las cuentas de neutrones y corrigiendo el periodo, se siguen obteniendo valores altos en comparación, de hasta 9.53 para la humedad relativa. Para intentar comprender un poco mejor lo que ha sucedido, se comprobarán las correlaciones entre las variables en el siguiente apartado.

T (°C): 1131.98	T (°C): 1.41
Rh (%): 830.92	Rh (%): 1.35
SYM-H (nT): 2.28	SYM-H (nT): 1.37
N (cps): 533.35	

Tabla 14. FIV periodo 2 sin corregir y corregido

Para el **segundo periodo**, se obtienen resultados similares a los del primero. Si se eliminan las cuentas de neutrones por segundo, la multicolinealidad se reduce drásticamente hasta valores muy próximos a 1 que indican que no hay multicolinealidad alguna aparente introducida por ninguna de las variables dependientes.

T (°C): 260.04	T (°C): 7.08
Rh (%): 219.29	Rh (%): 10.67
SYM-H (nT): 2.47	SYM-H (nT): 2.65
N (cps): 504.09	

Tabla 15. FIV periodo 3 sin corregir y corregido

Para el **tercer periodo**, se obtienen resultados algo diferentes a los anteriores, puesto que antes de corregir el periodo, pese a que el factor del número de neutrones sigue estando en torno a los 500, el de temperatura y humedad relativa son bastante menores. Si se eliminan las cuentas de neutrones por segundo, la multicolinealidad se reduce, pero para el caso de la humedad relativa esta llega a sobrepasar a 10, encontrándose en el límite de ser estadísticamente indicativa.

Estudio de los coeficientes de correlación

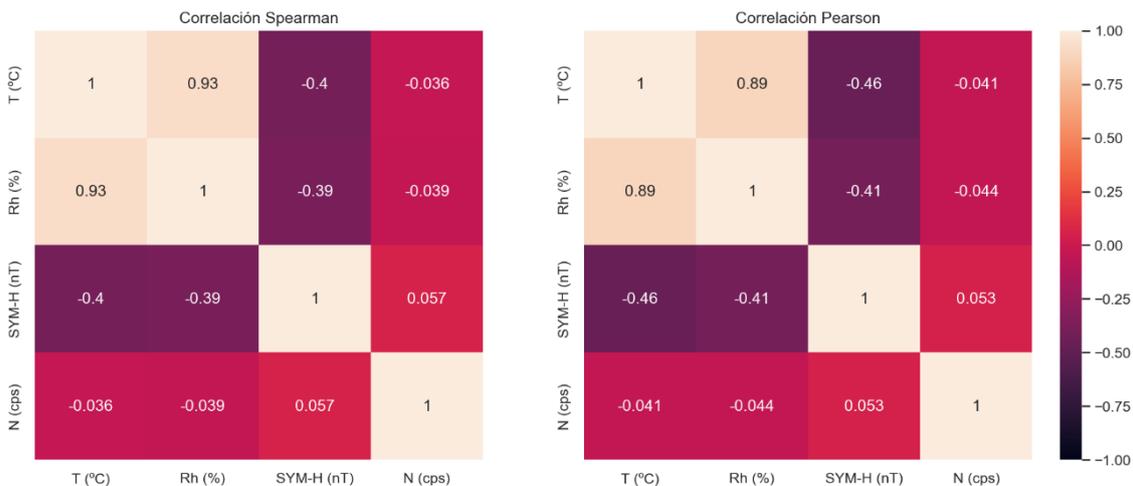


Figura 19. Coeficientes de correlación periodo1 resistencia sin corregir

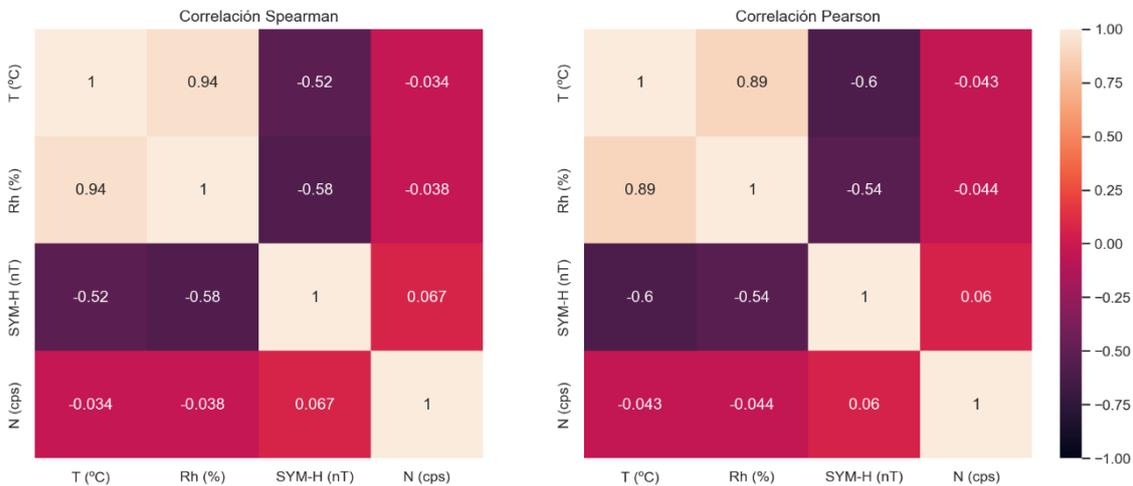


Figura 20. Coeficientes de correlación periodo 1 resistencia corregidos

Para el **primer periodo** se observan coeficientes de correlación bastante semejantes tras corregir y no corregir los datos y también son parecidos entre índices. Esto segundo indicaría que las variables están relacionadas de manera monótonica por un lado y lineal por otro, más o menos en la misma proporción.

Como era de esperar, el número de neutrones sigue sin presentar correlación alguna con el resto de las variables independientes. Si se comparan el resto de los índices con los de las Figura 8 y Figura 9 de la inductancia, se aprecia que en este periodo de la resistencia, las mediciones de la humedad relativa y la temperatura están altamente correlacionadas en contraste (valores de 0.94 y 0.89). No obstante, estas variables deberían tratarse como variables independientes, como ya se ha mencionado, y estos

resultados tan solo indican que, casualmente, en este periodo se han comportado en gran medida de la misma manera.

Por otra parte, también resulta interesante la media alta correlación que presenta el SYM-H con la temperatura y la humedad relativa (-0.58 y -0.54 para los datos corregidos). Comparándolo con los índices de correlación obtenidos con la inductancia (Figura 8 y Figura 9) que tenían valores de 0.40 y 0.53 tras corregir los datos, contrasta claramente que unos sean positivos y otros negativos. De esta manera, se puede suponer que estos valores de correlación elevados han sido casuales y que, en principio, no para haber ningún indicio de que el SYM-H y la humedad relativa tengan algún tipo de dependencia o de que el SYM-H pueda afectar de algún modo a las mediciones de esta.

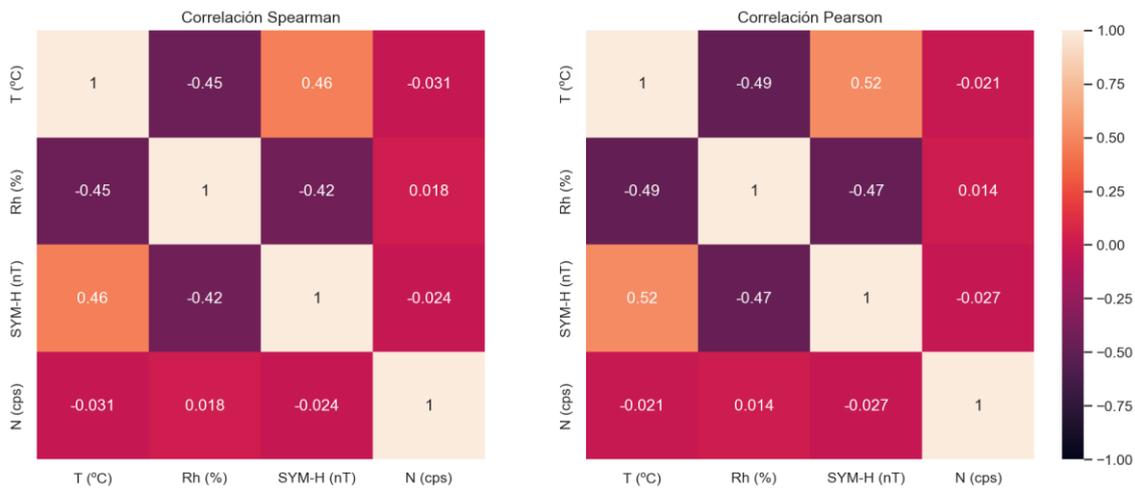


Figura 21. Coeficientes de correlación periodo 2 resistencia corregidos

Para este **periodo segundo**, se aprecian algunas diferencias. Mientras que los coeficientes con el número de cuentas por segundo siguen siendo prácticamente 0, no sucede lo mismo con el resto. Primeramente, en este periodo la relación entre la temperatura y la humedad relativa ha sido negativo contrastando con el alto índice positivo del primer periodo e indicando que efectivamente son independientes y el caso anterior ha sido casual. Luego el SYM-H con la humedad relativa sigue manteniendo una relación negativa significativa con valores de -0.42 y -0.47. Sin embargo, ahora la correlación con la temperatura es positiva de 0.46 y 0.52, cuando en el periodo 1 era negativa, indicando que efectivamente no se puede apreciar una relación aparente entre ambas variables y son independientes.

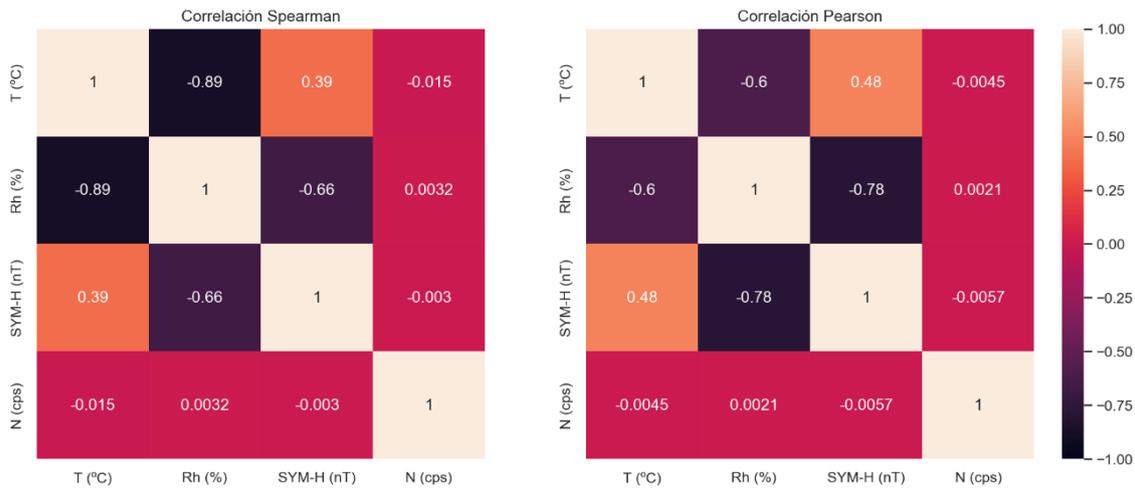


Figura 22. Coeficientes de correlación periodo 3 resistencia corregidos

Para el **tercer periodo**, se pueden discernir ciertas diferencias con los periodos anteriores. Lo primero más destacable para este caso es que el índice de Spearman y Pearson difieren un poco más que en los anteriores casos. Esto puede simplemente deberse a que el periodo de mediciones es más reducido.

El número de cuentas de neutrones sigue sin mantener correlaciones con el resto de las variables. La correlación entre humedad y temperatura en este caso es altamente negativa, al igual que el SYM-H con la humedad relativa.

Comparando los tres periodos y sus correlaciones tan diversas, solo se puede sacar como conclusión que, en principio, no se observa ninguna correlación aparente o que las variables interactúen entre ellas manteniendo el principio de independencia necesario para establecer modelos lineales.

### 3.4.4. Regresiones avanzadas

Las regresiones avanzadas que se han seleccionado, implementado y analizado son dos que tratan con la multicolinealidad de las variables. Estas regresiones obtienen mejores resultados en caso de que las variables estén altamente correlacionadas y se dé multicolinealidad entre ellas. Para este estudio no aportan mejores resultados e incluso convergen hacia la OLS clásica ya explicada y analizada. Sin embargo, se han comprobado para desestimar la multicolinealidad y para futuros estudios en los que se plantea introducir más variables independientes como más índices.

### Partial Least Square (PLS)

Este tipo de regresión, contrariamente a las simples como la OLS, tiene en cuenta la correlación existente entre variables al considerar en su cómputo las covarianzas de las variables independientes y dependientes. De manera muy simplificada y sin entrar en detalles, en su proceso de estimación intenta reproducir la matriz de covarianzas de las medidas reales, en el modelo generado. Esta regresión funciona mejor cuando se tiene un número elevado de variables independientes en comparación con el número total de medidas y sirve para descartar muchas de las variables que, al ser colineales con otras, no aportan información relevante sino repetida al modelo [39]. Por estos motivos, esta regresión sería muy útil si se incorporan nuevas variables al estudio.

De este modo, si se comprueba el PLS con el último periodo de estudio de la resistencia, el periodo tres, se obtienen los siguientes resultados para los coeficientes.

		PLS
const	21872.720932	
T (°C)	-9.560011	
Rh (%)	0.800454	R-cuadrado
SYM-H (nT)	0.036981	
N (cps)	0.004255	0.997742

Tabla 16. Regresión PLS periodo 3 resistencia

Como se puede observar, al comparar con los valores obtenidos de las regresiones OLS y RLM de la Tabla 10, los coeficientes son prácticamente iguales y solo difieren a partir del tercer del tercer decimal. La constante sí que parece variar, pero esto es solo efecto de centrar las variables, no es el valor real de la constante. Incluso R-cuadrado es prácticamente igual al 0.997855 del OLS, indicando que realmente el ajuste no dista el uno del otro.

### Elastic Net

Este tipo de regresión se basa en la PLS y adicionalmente combina dos términos añadidos a la función de pérdidas, obteniendo la mejor combinación posible y características de ambas. Las regresiones que aplican estas funciones de pérdidas individualmente son la regresión Ridge y LASSO, y si se combinan surge la regresión Elastic Net. Es decir, mientras que las OLS tratan de disminuir únicamente la suma de

cuadrados de residual, estas regresiones añaden unos términos de penalización extra a la función de pérdidas.

Por un lado, la regresión Ridge incorpora el término de penalización  $L_2$  que se trata de la suma al cuadrado de los coeficientes. Esta regresión mejora los resultados, pero es incapaz de eliminar predictores, es decir, no puede discernir o despreciar cuándo una variable no aporta información al modelo [40]. Siendo  $\beta$  la suma de los coeficientes,  $\lambda_2$  un coeficiente que regula la penalización, y estar el resto de las variables estandarizadas, la fórmula de pérdidas se expresa de la siguiente manera.

$$L(\lambda_2, \beta) = |y - X\beta|^2 + \lambda_2|\beta|^2 \quad \begin{array}{l} \text{Ecuación 3} \\ [40] \end{array}$$

Por otro lado, la regresión LASSO (Least Absolute Shrinkage and Selection Operator) añade un término de penalización  $L_1$ , que se trata de la suma de los valores absolutos de los coeficientes. Esta regresión sí que es capaz de eliminar variables independientes que no aportan información, pero presenta algunos problemas y asintotas como solo seleccionar una única variable indiscriminadamente cuando hay un grupo muy correlacionado. [40]

$$L(\lambda_1, \beta) = |y - X\beta|^2 + \lambda_1|\beta| \quad \begin{array}{l} \text{Ecuación 4} \\ [40] \end{array}$$

La regresión Elastic Net surge en un intento de poder combinar las características y mejoras de estas dos regresiones. De este modo, la regresión Elastic Net presenta una función de pérdidas que aúna ambas penalizaciones,  $L_1$  y  $L_2$ .

$$L(\lambda_1, \lambda_2, \beta) = |y - X\beta|^2 + \lambda_2|\beta|^2 + \lambda_1|\beta| \quad \begin{array}{l} \text{Ecuación 5} \\ [40] \end{array}$$

Esta expresión se puede reorganizar para expresarla en función de dos hiperparámetros tal y como se expresa en el paquete Sklearn de Python.  $\alpha$  es un escalar que controla la contribución de ambos parámetros a la función pérdida y va de 0 hasta infinito.  $l_1ratio$  representa la relación entre ambas penalizaciones y va de 0 a 1, siendo 1 equivalente a tener una regresión Ridge, y 0, una regresión LASSO. [41]

$$L(\lambda_1, \lambda_2, \beta) = |y - X\beta|^2 + \alpha(l_1ratio|\beta|^2 + (1 - l_1ratio)|\beta|) \quad \text{Ecuación 6}$$

El paquete estadístico y de aprendizaje de máquina de Sklearn también ofrece una función que sirve para comprobar combinaciones de  $\alpha$  y de  $l_1ratio$  y obtener aquella que presente un mejor ajuste a los datos reales.

De este modo, si se implementa esta función con las mediciones del tercer periodo de la resistencia se obtiene que la mejor combinación y resultado de los coeficientes del modelo es la siguiente.

<pre>----- alpha: 0.000000 l1_ratio_: 0.170000 -----</pre>	<pre>----- const          22128.500205 T (°C)         -9.560011 Rh (%)         0.800454 SYM-H (nT)    0.036981 N (cps)       0.004255 -----</pre>	<p><b>Elastic Net</b></p> <p>R-cuadrado</p> <p>0.997742</p>
--	---	---

Tabla 17. Regresión Elastic Net periodo 3 resistencia

En primer lugar, que el valor de  $\alpha$  óptimo sea igual a 0 indica que en realidad el mejor modelo es aquel que no tiene en cuenta los términos de penalización. Es decir, el mejor modelo es el PLS convencional. Este resultado es indicativo, nuevamente, de que las variables predictoras que se han considerado son realmente independientes entre ellas. De este modo, los resultados obtenidos son exactamente los mismos que los del PLS para todos los coeficientes, excepto para la constante, ya que en esta implementación de la regresión no se han centrado ni estandarizado las variables tal y como hace automáticamente la función de la regresión PLS de Sklearn.

### 3.4.5. Conclusiones del análisis de la resistencia

Tras haber aplicado las correcciones pertinentes, siendo la más notoria la eliminación de ciertos intervalos y en particular uno de 20 horas en el primer periodo, se han conseguido aplicar los modelos lineales y todas y cada una de sus comprobaciones de manera satisfactoria.

Pese a que el primer periodo y el último presentan los R-cuadrados más altos, en el primero el SYM-H no tiene influencia, mientras que en el tercero sí. El SYM-H durante estos tres periodos ha tenido un comportamiento errático más pronunciado en el primer periodo y en el segundo, con oscilaciones por encima y debajo de 0, mientras que en el

tercer periodo presenta un ascenso casi constante. Los resultados para el coeficiente del SYM-H para el segundo y tercer periodo coinciden con bastante exactitud, incluyendo su desviación estándar. Esta coincidencia es significativa y parece indicar que efectivamente puede existir cierta correlación. Como era de esperar, estos coeficientes eran varios órdenes de magnitud menores que los de la temperatura o la resistencia (2 y 1 respectivamente).

El coeficiente de temperatura se ha mantenido siempre en el límite o un poco por encima del máximo de las especificaciones. También llama la atención que los intervalos del 95 % de confianza de los coeficientes de temperatura para los diferentes periodos no lleguen a superponerse, indicando que algo podría haber afectado a la resistencia entre las diferentes mediciones alterando sus propiedades.

Sin duda, el término que presenta menos influencia en la resistencia parece ser las cuentas de neutrones. Esto podría deberse a que, si esta variable cósmica realmente puede modificar esta propiedad eléctrica, quizás su influencia sea muy localizada y, por tanto, los datos empleados de la estación de neutrones de Castilla la Mancha (la más próxima a València) no sean significativos. Por otra parte, también cabe recordar que la actividad solar se encontraba en un mínimo y el número de cuentas por segundo se encontraban por debajo de 71-72, límite en el que en otros estudios parecía comenzar a apreciarse algún efecto anómalo [1].

Adicionalmente, para las medidas de resistencia se ha comprobado que emplear regresiones más complejas que son capaces de tratar con la multicolinealidad entre variables, PLS y Elastic Net, no ofrecen mejores resultados para las variables tratadas, ya que convergen e indican que la regresión OLS es más que suficiente, al no darse multicolinealidad entre variables independientes.

### **3.5. Estudio de la capacitancia**

---

Las mediciones de capacitancia dentro de las CFM se realizaron durante los meses de agosto y septiembre. El periodo de mediciones va desde el 13/08/2020 a las 11:01 hasta el 03/09/2020 a las 08:56 haciendo un total de casi 20 días de medidas. Para este experimento, tal y como se ha mencionado previamente, no se había incorporado todavía el sensor de temperatura y humedad relativa, por lo que estos datos se han

obtenido de la AEMET y de la estación meteorológica más cercana ubicada en la UPV. Este hecho, por sí mismo, ya plantea un problema grave porque las condiciones locales del laboratorio pueden diferir en gran medida, ya que es un ambiente cerrado y controlado dentro de un edificio. Asimismo, estos datos suponen otro problema adicional, puesto que su resolución máxima es por horas. Esto implica que el resto de las medidas se han tenido que agrupar también por horas para poder trabajar con la misma resolución temporal. Para este caso, puesto que una resolución de una hora es relativamente larga, se ha decidido emplear la mediana en lugar de las medias de las variables, ya que había diferencias significativas y la asimetría, en algunos casos, era significativa.

### 3.5.1. Gráficas globales

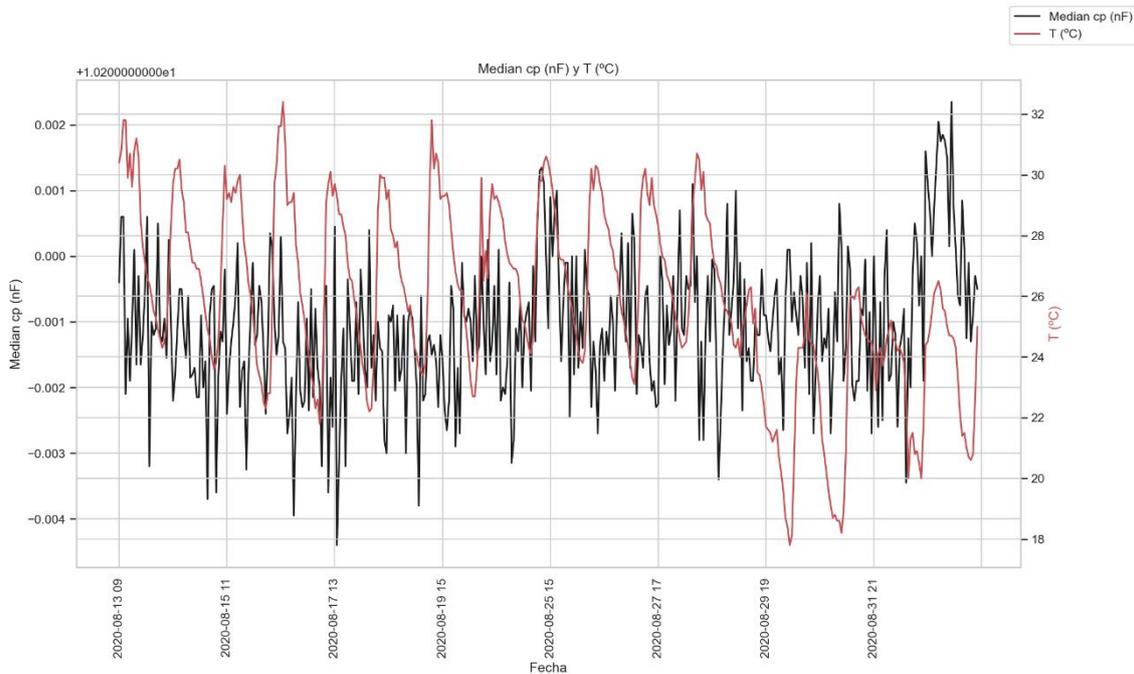


Figura 23. Serie temporal capacitancia y temperatura

Para este periodo de medidas se tiene una gráfica en la que a simple vista no se aprecia correlación aparente entre temperatura y capacitancia. La temperatura, al igual que con anterioridad, presenta un carácter cíclico día-noche marcado. Para una primera parte de las mediciones que abarca hasta el día 28 de agosto, las temperaturas máximas que se dan entorno al medio día toman un valor de entre 29.5 y 32 °C, mientras que por la noche las temperaturas descienden hasta situarse entre los 22 y 24 °C. Para el resto

del periodo, las temperaturas disminuyen, tanto los máximos entre 24 y 26 °C como los mínimos, entre 21 y 18 °C.

La capacitancia, en este caso, presenta un comportamiento bastante oscilatorio y errático en gran medida. Estas oscilaciones se dan de manera continuada entre horas y con amplitud variada que algunas veces llega a superar los 0.04 nF. Si se presta atención a la media de la capacitancia, esta parece descender levemente los primeros dos tres días, luego aumenta un poco hasta inicios del día 19, tras lo que sufre un leve descenso hasta principios de septiembre y, finalmente, se observa un pico en el día 2 de septiembre. Ninguna de estas variaciones parece estar influenciada por las variaciones propias de la temperatura, como sería esperable con un condensador ultra estable.

El valor nominal de la capacitancia era de 10 (±10%) nF y, puesto que estas medidas parecen variar entorno a los 10.19 nF, se encuentran dentro de las especificaciones.

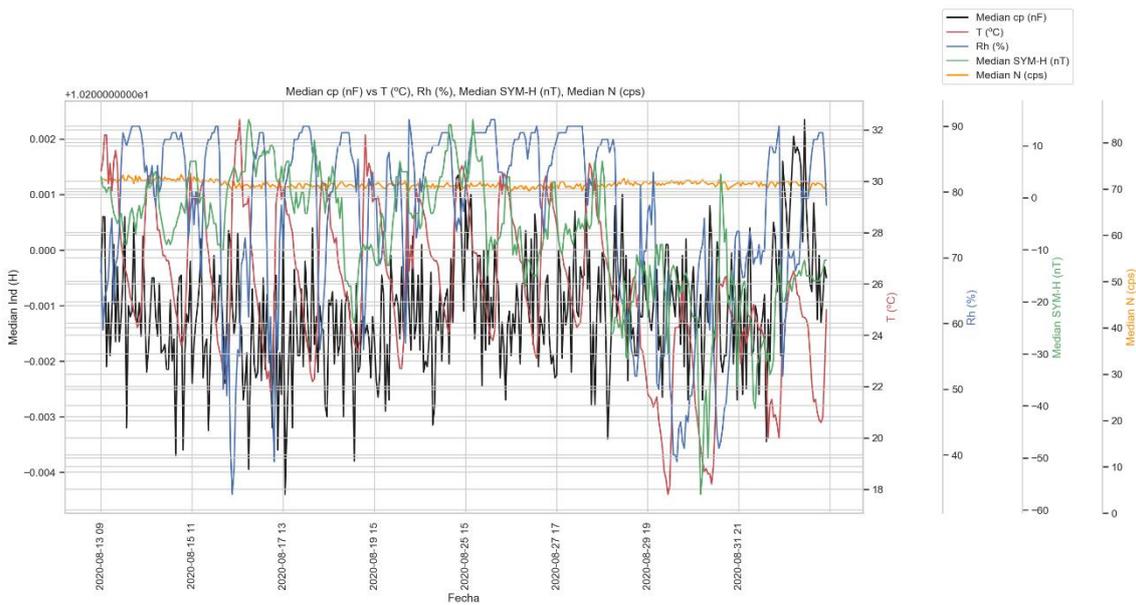


Figura 24. Serie temporal capacitancia, temperatura, humedad relativa, índice geomagnético y cuentas de neutrones

Al igual que con la temperatura, no se puede apreciar ninguna clara tendencia en común entre ninguna variable, excepto un poco con la humedad relativa y el índice geomagnético SYM-H a finales del periodo.

La humedad relativa oscila también en este caso con ciclos día-noche, pero en esta ocasión se aprecia que los máximos se dan durante la noche y los mínimos durante el día, contrariamente a la temperatura. La humedad relativa llega oscilar desde valores

muy elevados del 90% hasta valores mínimos sobre el 40%. Al igual que la temperatura, durante un primer periodo hasta el 28 de agosto, las medidas se mantienen elevadas, y a partir de este día se aprecia un descenso durante dos tres días, seguido de otro ascenso hasta los valores de antes. Es únicamente en este último descenso y subida, en el que parece comportarse similar a la capacitancia.

El SYM-H tiene un comportamiento errático, sin ningún ciclo aparente. No obstante, sí que se parece apreciar dos periodos diferenciados, al igual que con la temperatura y la humedad relativa. Durante un primer periodo hasta el día 28, el SYM-H oscila en torno a 0 nT, indicando una actividad solar media. A partir de este día, se aprecia un descenso sustancial hasta alcanzar un valor medio de -30 nT, valores que implican una actividad solar y geomagnética moderadamente baja.

El número de cuentas de neutrones se mantiene relativamente constante durante todo el periodo, sobre las 70-71 cuentas por segundo, excepto por un leve descenso al inicio del periodo. Estos valores indican una actividad de rayos cósmicos moderada baja.

Pese a que tanto temperatura como humedad relativa y SYM-H presentan un comportamiento similar a partir del día 28 de agosto acompañados con un descenso conjunto con la capacitancia, para el resto de periodo no se aprecian ninguna relación clara. A una escala temporal de horas, es todavía más complicado observar una clara tendencia o relación.

#### 3.5.2. Regresiones básicas

En este caso del estudio de la capacitancia, se han comprobado también numerosas funciones con todas las variables, pero no ha habido ninguna que haya mostrado buenos resultados. También, se ha probado a escoger subperiodos de mediciones de unos o varios días y en particular de separarlo en dos periodos con el día 28 de agosto por las relaciones que se han observado en las gráficas globales. Sin embargo, esto tampoco ha supuesto mejora alguna en los resultados de las regresiones. Por estos motivos, simplemente se van a mostrar las regresiones obtenidas de todo el periodo con relaciones lineales con todas las variables.

## Ecuaciones obtenidas

	coef	std err	t	P> t	[0.025	0.975]	
const	10.1993	0.006	1730.468	0.000	10.188	10.211	<b>OLS</b>
T (°C)	-1.703e-05	2.15e-05	-0.792	0.429	-5.93e-05	2.52e-05	R-cuadrado
Rh (%)	-1.425e-06	4.06e-06	-0.351	0.726	-9.41e-06	6.56e-06	
Median SYM-H (nT)	-7.148e-06	5.56e-06	-1.287	0.199	-1.81e-05	3.77e-06	
Median N (cps)	1.817e-06	8.23e-05	0.022	0.982	-0.000	0.000	0.013859

	coef	std err	z	P> z	[0.025	0.975]	
const	10.2001	0.006	1780.995	0.000	10.189	10.211	<b>RLM</b>
T (°C)	-2.57e-05	2.09e-05	-1.230	0.219	-6.66e-05	1.52e-05	R-cuadrado
Rh (%)	-3.521e-08	3.95e-06	-0.009	0.993	-7.77e-06	7.7e-06	
Median SYM-H (nT)	-6.083e-06	5.4e-06	-1.127	0.260	-1.67e-05	4.5e-06	
Median N (cps)	-8.81e-06	7.99e-05	-0.110	0.912	-0.000	0.000	0.018607

Tabla 18. Regresiones básicas capacitancia sin corregir

Como se ha comentado y como se aprecia a simple vista con los R-cuadrado de valores ínfimos menores de 0.02, estas regresiones no aportan ninguno modelo interpretable que se ajuste a las mediciones de capacitancia. De este modo, los coeficientes obtenidos carecen de valor estadístico y sus valores numéricos no son significativos. La regresión RLM tampoco ha aportado ni mejorado en prácticamente nada el modelo, indicando que no se debe a la presencia de datos anómalos ni ningún fenómeno por el estilo.

Con estos modelos no se puede establecer ni sacar ninguna relación en claro. Por este motivo, resulta innecesario incluir la comprobación de las hipótesis de las regresiones, ya que las gráficas y análisis correspondientes presentan resultados afines a los de la regresión.

## 3.5.3. Conclusiones del análisis de la capacitancia

Pese a haber observado ciertas relaciones entre las variables independientes y la capacitancia, como la reducción de la temperatura, humedad relativa y SYM-H a partir del día 28 de agosto, no se ha obtenido ninguna clase de relación con estas.

Después de haber comprobado numerosas funciones, no observar ninguna correlación con estas variables ambientales y cosmológicas puede suponer meramente que la capacitancia es independiente de todas estas. No obstante, sí que se esperaba un

comportamiento similar con la temperatura y humedad. Pese a tratarse de un condensador ultra estable de clase 1 y características térmicas C0G/NP0, estos tienen una pequeña tolerancia de  $\pm 30$  ppm/ $^{\circ}\text{C}$  y un comportamiento lineal con la temperatura, por lo que alguna correlación debería estar presente.

De este modo, se presupone que los resultados obtenidos de las regresiones se deben a haber empleado una resolución temporal demasiado grande como para representar correctamente la variabilidad de la capacitancia. También se puede deber a que las medidas de la temperatura y humedad relativa no eran lo suficientemente locales, ya que contrariamente al resto de experimentos en los que se introdujo un sensor dentro de la CFM, para este se emplearon datos de la estación climatológica de la UPV obtenidos a través de la AEMET.

En este análisis solo se ha realizado el estudio de los valores medidos al encontrarse el condensador dentro de la caja. Al compararlo con las medidas de fuera de la caja (tal y como se ha hecho en “More anomalous capacitance measurements inside an interleaving structure”, todavía sin publicar [5]), sí que se aprecia sin embargo una diferencia estadística palpable, existiendo nuevamente un periodo de transición como se ve con el resto de las variables RLC al introducirse dentro de la caja.

## 3.6. Conclusiones

---

En líneas generales, los resultados de los experimentos han sido satisfactorios, puesto que se ha comprobado que existen ciertas correlaciones entre las variables electrónicas, y las variables ambientales y el índice geomagnético indicando una posible influencia de este. No obstante, estas correlaciones no han sido halladas con la otra variable cosmológica estudiada, el número de neutrones cósmicos.

En el análisis de la inductancia se ha encontrado el problema de que, a pesar de que las regresiones lineales han proporcionado valores de R-cuadrado de hasta 0.982 con el RLM tras eliminar un primer periodo transitorio, el estudio de los residuales ha mostrado que no se cumplía el principio de homocedasticidad, invalidando en gran medida el modelo obtenido. Después de haber comprobado numerosas funciones y combinaciones de estas con las variables independientes, no se hallado ningún modelo que llegue a cumplir el principio de homocedasticidad. Este resultado es sorprendente

por sí mismo e indica un comportamiento anómalo de la inductancia dentro de la CFM. Aun así, en estos modelos obtenidos, la significancia estadística del SYM-H y las cuentas de neutrones es mínima, con estadísticos que descartan la probabilidad de afectar al modelo y con coeficientes muy pequeños (varios órdenes de magnitud por debajo de los de la temperatura y la humedad), con una desviación estándar muy elevada que llega a hacer que incluso pasen de ser coeficientes positivos a negativos en un intervalo de confianza del 95%.

El estudio de la resistencia ha proporcionado los mejores resultados en cuanto a correlaciones con el índice geomagnético tras realizar todas las comprobaciones de las regresiones y los modelos. De los tres periodos de mediciones estudiados, en los dos últimos se ha observado que el SYM-H afectaba notablemente al modelo con una probabilidad mayor al 99.9% y que incluso los coeficientes eran semejantes con valores de 0.0281 y 0.0371  $\Omega/nT$  correspondientemente, y con unas desviaciones estándar de aproximadamente del 15% respecto a los coeficientes. No obstante, tras corregir unas medidas inusuales del primer periodo que se atribuyen inicialmente a un error en las mediciones de la humedad, el efecto del SYM-H en la regresión de este periodo se reduce drásticamente hasta no ser significativo. Esto plantea la duda de si el índice geomagnético pudo afectar en alguna medida al sensor o al instrumental. No obstante, no se observa ninguna variación drástica o anómala del SYM-H en ninguno de los periodos, ni siquiera mientras se produjo esta desviación en las medidas de la humedad. Nuevamente, las cuentas por segundo no presentaron correlación alguna con la resistencia. Finalmente, también llama la atención cómo el coeficiente térmico excede en pequeña medida el límite marcado por el fabricante y cómo su valor varía entre los diferentes periodos sin que sus intervalos de confianza del 95% lleguen a intercalarse.

El análisis de la capacitancia ha resultado el menos fructífero de los tres. Para este estudio se emplearon datos de humedad y temperatura proporcionados por la estación meteorológica en la UPV de la AEMET. Pese a que en las gráficas globales se observaba una pequeña tendencia conjunta al final del periodo de mediciones, entre la temperatura, humedad relativa y SYM-H, el análisis de correlaciones ha resultado poco revelador con valores de R-cuadrado de 0.0139 y 0.0186. Esto se pueda deber a que realmente la capacitancia sea independiente de estas mediciones, pero se esperaba que al menos fuera en función de la temperatura y la humedad relativa, ya que pese a tratarse de un condensador ultra estable de clase 1 y características térmicas C0G/NP0, estos tienen una pequeña tolerancia de  $\pm 30$  ppm/ $^{\circ}C$  y un comportamiento lineal con la temperatura. De esta manera, se atribuyen estos resultados a que los datos de la

estación meteorológica no presentan una buena resolución temporal (de horas) y que realmente pueden diferir notoriamente de las condiciones reales del laboratorio y de dentro de la CFM. No obstante, al comparar las medidas de fuera de la caja y dentro (tal y como se ha hecho en “More anomalous capacitance measurements inside an interleaving structure” todavía sin publicar [5]), sí que se aprecia una diferencia estadística notable, existiendo nuevamente un periodo de transición hasta alcanzar un nuevo equilibrio como se ve con el resto de las variables RLC al introducirse dentro de la caja.

Las regresiones avanzadas implementadas han confirmado que las variables ambientales y cosmológicas son independientes entre ellas, como ya se había observado al estudiar los FIV y las correlaciones entre ellas. Esto se ha corroborado al comprobar que estas regresiones adicionales (PLS y Elastic Net) han convergido a una OLS simple. De este modo, se ratifica que no hay colinealidad entre las variables predictoras y que los modelos generados son fidedignos.

Asimismo, habría que remarcar las anomalías que se han observado en las mediciones. Adicionalmente a la del primer periodo de la resistencia asociada a la humedad relativa, se han dado dos anomalías más al iniciar las mediciones de la inductancia y la resistencia. Estas anomalías que se traducen en un estado transitorio hasta alcanzar un equilibrio de las variables eléctricas, se producen cuando con el instrumental encendido se introducen los componentes dentro de la CFM. Otra anomalía que no se ha podido modelizar se trata de los resultados de las regresiones de la inductancia, como se ha comentado recientemente. Estos hechos remarcan una influencia de la CFM en las medidas, pero no se ha establecido su posible causa y se deja para posibles estudios en los que se obtenga un modelo físico y predictivo de las CFM.

Cabe remarcar que, tal y como se ha observado en las gráficas globales, los rangos de temperatura y humedad relativa en los que se han llevado a cabo los experimentos han sido condiciones óptimas para el instrumental empleado. Este hecho es de vital importancia, ya que confirma la validez de las mediciones y que no se ha producido ninguna desviación ni error por el equipamiento.



---

---

## **4.FUTUROS EXPERIMENTOS Y MEJORAS**

---

## 4.1. Futuros experimentos

---

Puesto que el estudio no ha proporcionado resultados conclusivos en algunos casos y debido a que no se ha podido modelizar del todo el efecto de las variables cosmológicas, sería de especial interés proponer mejoras experimentales que faciliten la reproducibilidad y sirvan para afianzar el proceso de recogida de datos. Concretamente, sería de gran utilidad facilitar y estandarizar en el mayor grado posible el experimento, de manera que este se pueda llevar a cabo en diferentes partes del mundo con sus condiciones y variables locales cosmológicas. Por ejemplo, en este trabajo no se han encontrado correlaciones con el número de neutrones, pero puede que esto se deba a que no se trataban de datos locales. Si el experimento se hubiera realizado durante un tiempo con mayor flujo de neutrones (posiblemente  $N > 2\text{cps}$ ) y más cerca de la estación de neutrones (Guadalajara), quizás los resultados podrían haber llegado a ser diferentes.

También, resultaría muy útil poder comparar lo que sucede fuera y dentro de la caja simultáneamente. Hasta recientemente, eso habría requerido duplicar los circuitos, componentes e instrumental, pero permitiría cotejar con certeza los resultados y posibles modelos. Con la nueva propuesta de experimento no se requiere duplicar la instrumentación gracias a emplear un puente de Wheatstone. Si se aprecia que lo que sucede dentro de la caja difiere con lo observado inmediatamente al lado, pero sin caja, se probaría claramente que la caja induce algún comportamiento anómalo. No obstante, mediciones atmosféricas de dentro y fuera sí que serían necesarias. Además, se plantea tomar mediciones de las transiciones de los componentes al pasar de dentro a fuera de la caja y viceversa, al emplear una caja que actúe como una campana extraíble como se explicará a continuación.

Por otro lado, se planteará la realización del experimento en un globo sonda. Puesto que muchas variables cosmológicas dependen de la altura debido al efecto atenuante de la atmósfera y el campo geomagnético terrestre, se espera que, al realizar las mediciones a diferentes altitudes, se puedan observar nuevas tendencias. Un ejemplo de variable que depende de la altura es el índice AE (Auroral Electrojet), un tipo de índice geomagnético que se puede descargar y observar desde el portal web de World Data Center for Geomagnetism, Kyoto [42]. De la mayoría de estas variables no existen observaciones en altura. Por ejemplo, no hay sensores de neutrones en diferentes capas de la atmósfera o sensores comerciales para incluir en un globo. No obstante, si

se demuestra, comprueba y modeliza que una alguna variable eléctrica varía con estas variables cosmológicas, se podría realizar el proceso inverso y medir las variaciones de estas variables cosmológicas se podría realizar el proceso inverso y medir las variaciones de estas variables cosmológicas a partir de este experimento. Es decir, pasaría de ser un componente bajo estudio a emplearlo como sensor.

##### 4.1.1. Configuración experimental

###### Diseño de la CFM

En estos experimentos pasados se han empleado un total de tres cajas de Faraday una dentro de otra tal y como se ha explicado en el apartado 2.4.1. Tras observar los resultados y revisar estudios previos que indican que dentro de las cajas de Faraday se dan fenómenos de resonancia [15], se ha concluido que resulta más fácil modelizar los efectos producidos dentro de una única caja y evitar las posibles interferencias al incorporar múltiples. Por esto mismo, se plantea que para los siguientes experimentos se emplee una única CFM. Además, se ha considerado estudiar el efecto que tendrían diferentes combinaciones de capas y espesores.

Respecto a la composición y distribución de las capas de estas, se planea seguir utilizando aluminio y corcho, puesto que ha ofrecido buenos resultados. La estructura contará con un mínimo de 4 capas alternas. Este sería el mínimo de capas para considerarla una CFM. Puesto que estos materiales no son muy complicados de obtener en diferentes formatos y espesores, se plantea probar diferentes combinaciones de espesores haciendo hincapié en el ratio entre material orgánico y metálico. De esta forma, se debería estudiar y comprobar qué sucede con cajas con diferente número de capas y ratios para tratar de comprender los fenómenos electromagnéticos que se producen. Adicionalmente, debido a la disponibilidad de los materiales, no se pretende fijar una aleación de aluminio para ser usada a escala global, pero esta deberá ser anotada y adjuntada en el estudio para caracterizar la caja pertinentemente.

Considerando la construcción de estas, se plantean unas dimensiones reducidas que permitan realizar el experimento en cualquier laboratorio o embarcarlo en un globo. En particular, las dimensiones de la carga de pago del modelo de globo que tiene el departamento de telecomunicaciones es de 16x16x13 cm. No obstante, tampoco se debe reducir el tamaño al mínimo para que los sensores de dentro de la caja no estén muy próximos al componente bajo estudio y para que la caja no se sobrecaliente.

Por otro lado, se ha planteado e hipotetizado hacer uso de un recipiente esférico en lugar de una caja o paralelepípedo para evitar resonancias más impredecibles. Dentro de un dispositivo esférico con el componente bajo estudio ubicado en el centro, todas las paredes en todas las direcciones están a la misma distancia y orientadas hacia el centro. No obstante, debido a las complicaciones que plantea la elaboración de dicho recipiente, se ha prescindido de esta idea y se ha decidido continuar haciendo uso de un cubo.

Para estos nuevos experimentos, se plantea diseñar la caja a modo de campana para evitar las complicaciones que supone introducir y extraer los componentes bajo estudio. Es decir, se podrá separar la base (con los componentes bajo estudio y sensores de temperatura y humedad) del resto de la caja permitiendo alternar entre estar al aire libre y dentro de la caja sin tener que abrirla o desmontarla. Tan solo con quitar la parte superior, que actuará de campana, se tendrá el dispositivo descubierto. De este modo, se proponen unas dimensiones de 10x10x10 cm considerando que estas magnitudes corresponden a la capa más exterior, es decir, que la caja se construye de fuera a dentro.

Respecto a la ubicación de las entradas de cable, se realizará un orificio en el centro de la base de la caja permitiendo su extracción por esta. El componente bajo estudio se colocará con cierta elevación respecto a la base para ubicarlo en el centro de la caja y los sensores se dispondrán cerca de la base, sin llegar a tocarla.

Antes de comenzar los experimentos, se comprobará la atenuación electromagnética dentro de la caja. Para ello se puede medir el nivel de un dipolo u otra antena de dimensiones reducidas dentro y fuera, y comparar ambos valores para obtener la atenuación en la banda de radiofrecuencias. También se podría analizar la atenuación en función de diferentes frecuencias.

#### Circuito eléctrico para los componentes bajo estudio

Para mejorar la circuitería y la obtención de resultados, se ha planteado cambiar el enfoque de la toma de mediciones. En lugar de emplear un multímetro y medir directamente las variables RLC, se ha planeado hacer uso de un puente de Wheatstone y medir la diferencia de potencial para caracterizar el elemento bajo estudio. Esta clase de puente sirve para medir tanto resistencias como bobinas y condensadores, cambiando un poco la distribución de los elementos.

Un puente de Wheatstone es una configuración electrónica muy simple que permite obtener medidas diferenciales de gran precisión. El puente en sí consiste en colocar en paralelo dos componentes en serie y medir la diferencia de potencial entre estos dos componentes. En la figura siguiente se aprecia mejor esta distribución.

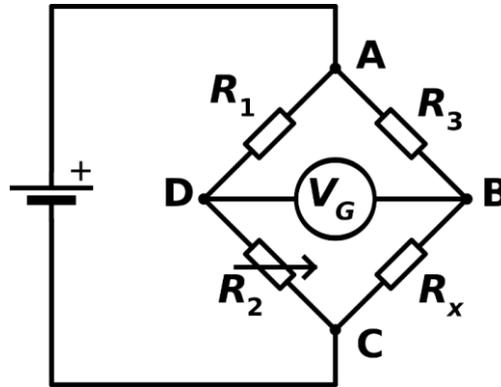


Figura 25. Esquema del puente de Wheatstone [43]

Mediante conocimientos básicos de electricidad y las leyes de Kirchhoff, se puede establecer claramente que para que la corriente sea 0 entre los puntos D y B, las resistencias han de seguir la siguiente relación:

$$R_x = \frac{R_3}{R_1} \cdot R_2 \quad \text{Ecuación 7}$$

De este modo, estableciendo  $R_1$  y  $R_3$  iguales, el circuito se encontrará en equilibrio cuando  $R_2$  y  $R_x$  sean iguales. Con esta condición de equilibrio, midiendo con un galvanómetro o un multímetro una corriente nula o un diferencial de potencia igual a 0 se establece que ambos elementos son iguales. Puesto que esto se puede realizar con gran precisión, el ajuste de  $R_x$  cuenta con muy poca incertidumbre. Obviamente, esto solo se puede realizar cuando las resistencias que no son la incógnita y su comportamiento se conocen con gran precisión.

Para mejorar el ajuste del multímetro es necesario hacer uso de un amplificador operacional para aumentar el nivel de corriente de salida con una ganancia que permita encontrarse en el rango óptimo de medición del dispositivo.

De esta manera, lo que se plantea para el experimento es emplear cuatro resistencias o componentes electrónicos ultra estables iguales. Si se ubican dos fuera de la caja y dos dentro, se puede medir y cuantificar las diferencias y variaciones de comportamiento

entre los de dentro y los de fuera. Para ello, también sería necesario duplicar el instrumental de medida de variables atmosféricas.

##### Instrumentos de medida

Para realizar las mediciones y generar la señal del circuito (del puente de Wheatstone) se necesita emplear un multímetro y un oscilador. Para ello, igual que para los experimentos previos, se plantea utilizar un multímetro modelo HP 4263 o algún modelo más nuevo provisto por el departamento de electrónica de la UPV.

Para las mediciones ambientales, adicionalmente a temperatura y humedad, se considera pertinente incluir mediciones de la presión con un sensor adicional, para acabar de definir el modelo atmosférico local del experimento. Como se ha comentado, se necesitaría duplicar los sensores de variables atmosféricas para poder tomar medidas dentro y fuera de la caja simultáneamente. Estas medidas deberían tomarse también cada segundo, o el periodo mínimo posible, al igual que las medidas de capacitancia.

La mejor manera y más simple de tomar las medidas, es programando y haciendo uso de un Arduino u otro microcontrolador. Para la misión del globo sonda, se ha pensado hacer uso de microcontroladores adaptados para el espacio, como los basados en los microprocesadores de VORAGO y su tecnología HARDSLIL® [44] que protege a los procesadores de la radiación y las condiciones espaciales.

En líneas generales, debería realizarse una calibración del instrumental de medida con periodicidad. Introducir este proceso de validación de los instrumentos supondría eliminar cualquier incertidumbre que se pueda asociar a un posible funcionamiento defectuoso, especialmente después de estar largos periodos de tiempo conectados.

##### 4.1.2. Mejora de la ubicación espacial y temporal del experimento

Con el objetivo de maximizar los resultados, se plantea escoger el entorno espacial y temporal de los experimentos. Para reducir las interferencias con posibles fuentes de ruido ajenas al experimento, la toma de mediciones debería tener lugar en una cámara anecoica aislada de radio frecuencias. De este modo, se puede asegurar con mayor

certeza que las posibles variaciones observadas no se deben al efecto del equipamiento o del entorno electromagnético del laboratorio donde se realicen.

En cuanto a la ubicación temporal, puesto que el índice que ha presentado mayores correlaciones se trata del índice geomagnético que depende de la actividad solar, se planea realizar estas mediciones cuando esta actividad sea elevada. Al aumentar la actividad solar también aumenta la radiación en forma de partículas que llega a la Tierra. De esta manera, se espera que los resultados y variaciones sean más significativos y que se observen nuevas correlaciones o algunas más intensas. Siguiendo el ciclo solar y su periodicidad de 11 años, el siguiente máximo de actividad tendrá lugar durante julio de 2025 [45]. Sin embargo, tal y como se observa en los últimos registros, las mediciones de manchas solares y de energía proveniente del Sol son ya elevados, por lo que el experimento podría realizarse en cuanto estuviera disponible el material y la instrumentación y hasta mediados de 2027 aproximadamente.

Adicionalmente con esta gráfica se observa que el periodo durante el cual se han realizado estos experimentos (2020) se encontraba en un mínimo de actividad solar. Por el contrario, para experimentos pasados, se encontraba en un máximo (2014) [1].

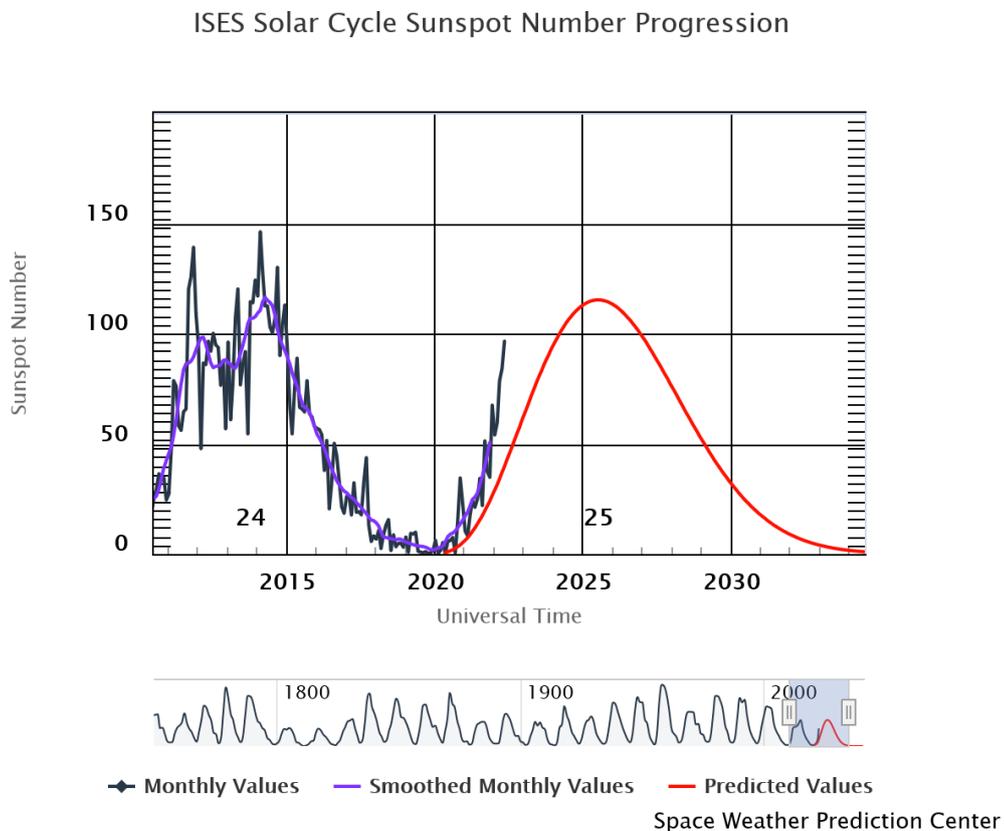


Figura 26. Predicciones actividad solar y medidas hasta la fecha [45]

### 4.1.3. Procedimientos

Para mejorar la toma de resultados y afianzar los resultados, se plantea sistematizar la toma de medidas. La toma de medidas se realizará en periodos de una semana exactamente y el experimento debería contar con una duración de al menos un mes/28 días (dos periodos sin CFM y dos con CFM). De esta manera, se podrá observar bien el carácter dilatado en el tiempo de los fenómenos cosmológicos.

La toma de medidas se iniciará con el dispositivo descubierto, sin la CFM. Esto es de especial importancia porque servirá como periodo de referencia y calibración, ya que, en principio, con el puente de Wheatstone y todos los componentes iguales, las mediciones deberían dar 0 durante todo este periodo y los subsiguientes que se realicen sin caja. Si se presentan resultados anómalos, se debe intentar averiguar la razón de dichas anomalías antes de preparar el experimento y, en caso de ser necesario, cambiar los componentes.

Tras siete días y siempre a la misma hora y minuto, se colocará la CFM encima a modo de campana. Es de especial importancia realizarlo a la misma hora y minuto para facilitar luego la lectura de datos y su división en periodos. A su vez, esto favorece encontrar los posibles periodos transitorios que se den al poner y retirar la CFM.

### 4.1.4. Globo sonda

El globo sonda que posee el departamento de telecomunicaciones de la UPV es un Weather Balloon 1600 de StratoFlights [46]. Las características básicas de este globo son que puede alcanzar una altitud media de 36 km antes de explotar, con una tasa de ascenso media de 4-5 m/s. Esta tasa se puede regular con la cantidad de helio empleado, ajustando así la duración de la misión.

Este globo cuenta con una carga máxima de 1600 g o 1.6 kg y su kit viene con pack de accesorios básicos para poder realizar experimentos y asegurar un vuelo seguro, como un paracaídas o un sistema de localización GPS. Estos dos elementos son necesarios para el correcto vuelo y recuperación del globo sonda tras la misión.

Para esta misión, se debería contar con los siguientes instrumentos y accesorios para poder llevar a cabo el experimento: Arduino u otros microcontroladores, tarjeta de memoria, sensores ambientales (temperatura, humedad, presión) para dentro y fuera

de la caja, sensor de altitud, circuitos y componentes bajo estudio, una CFM de dimensiones reducidas, sistema GPS, suministro eléctrico en forma de baterías, sistema GPS y paracaídas. Se ha pensado en elaborar la CFM con capas de papel de aluminio en lugar de láminas más gruesas con el objeto de para reducir el peso en caso de ser necesario. Si así fuera, esta nueva caja debería examinarse primero en tierra con alguna prueba.

El microcontrolador, en este caso, ha de ser capaz de realizar también las mediciones de diferencia de potencial del puente Wheatstone, por lo que ha de contar con una entrada y una salida analógica de gran precisión. El propio kit del globo cuenta con un registrador de datos ambientales y de altitud que se podría emplear directamente, en caso de que sea capaz de registrar con precisión esta diferencia de potencial.

La mayor limitación, además de la masa, es el volumen. El kit viene con una caja de poliestireno de dimensiones 16x16x13 cm. Dentro de esta caja se debería compactar todo el instrumental necesario para las mediciones y la propia CFM. Se estima que unas dimensiones de la CFM de 10x10x10 cm son suficientes para cumplir con la restricción espacial, teniendo en cuenta todo el equipamiento y el instrumental.

## 4.2. Mejoras del estudio y propuestas futuras

---

En este apartado se van a comentar mejoras y estudios complementarios que se pueden aplicar al análisis de los datos, así como nuevos enfoques y líneas de investigación que podrían mejorar la interpretación de los resultados y la caracterización de los fenómenos de las CFM. Estas mejoras pasan desde analizar más variables e índices cosmológicos, a estudiar las anomalías de los datos o diferentes tipos de análisis.

### 4.2.1. Considerar más índices y variables cosmológicas

Para mejorar el estudio ya realizado se plantea la inclusión de más índices y variables cosmológicas, como el campo magnético interplanetario, el número de Wolf o el flujo de energía solar. Puesto que toda la infraestructura informática de los programas de Python está realizada, se podrían añadir más variables. En particular, con las regresiones avanzadas que se han incorporado y que sirven para tratar con la multicolinealidad y un

número elevado de variables, seleccionando las que realmente tienen efecto en los modelos, se podrían comprobar con relativa facilidad nuevos predictores. Esto serviría para conocer y/o descartar de manera casi inmediata el posible efecto y correlación de las variables cosmológicas.

##### 4.2.2. Análisis de causalidad

Para mejorar y esclarecer la interpretación de los resultados, un análisis causal sería necesario. En este estudio se ha demostrado mediante regresiones y el estudio de estas, que parecen existir ciertas correlaciones entre las variables eléctricas (principalmente la resistencia) y el índice geomagnético SYM-H. No obstante, esta correlación no implica necesariamente causalidad. Es decir, esto dos fenómenos que parecen estar relacionados puede que no tengan una relación causa-efecto, sino que ambos se vean afectados por una tercera variable o fenómeno alejado de una interacción directa.

Para poder demostrar y afianzar estas relaciones causa-efecto, deberían implementarse los estudios correspondientes. Estos análisis, como el test de causalidad de Wiener-Granger, se basan en la significancia estadística de predecir valores futuros. Es decir, las causas se dan antes que los efectos y las causas aportan información específica sobre los valores futuros de los efectos [47].

##### 4.2.3. Análisis de los periodos anómalos

Tratando de comprender mejor los fenómenos que suceden dentro de la caja, se debería incluir un análisis de todos los fenómenos anómalos que se han observado a lo largo del trabajo. Además de un posible fallo del sensor de humedad durante el periodo 1 de la resistencia (Figura 11 y Figura 15) como se ha comentado, los resultados más anómalos se daban al introducir los componentes dentro de la caja. Dicho de otra manera, se ha apreciado un periodo transitorio hasta estabilizarse los valores cuando, estando el equipamiento encendido anteriormente, se introducen los componentes dentro de la caja. Ejemplos de esto son el primer periodo de 20 horas de la inductancia (Figura 5) y los primeros 20 minutos del primer periodo de la resistencia (Figura 11 y Figura 15). Estos sucesos y fenómenos se deberían caracterizar y tratar de comprender desde un punto de vista electromagnético.

---

---

## **5. PLIEGO DE CONDICIONES**

---

## 5.1. Pliego de condiciones generales

---

### 5.1.1. Objeto

A lo largo de este pliego de condiciones se expondrá la regulación aplicable a este estudio, determinando las normas aplicables a su realización e implementación.

Estas normas se basan principalmente en las medidas de seguridad, higiene y protección del trabajador bajo las condiciones en las cuales se ha desarrollado este trabajo de fin de grado. Estas ordenanzas están basadas en el “Real Decreto 488/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas al trabajo con equipos que incluyen pantallas de visualización” basados en la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales. Esta ley sigue a su vez la normativa europea recogida en la Directiva 90/270/CEE, de 29 de mayo.

### 5.1.2. Real Decreto 488/1997, de 14 de abril

En este apartado se expondrán únicamente los artículos y anexos que regulan los trabajos en los que se hace uso de pantallas.

#### Artículo 3. Obligaciones generales del empresario

1. El empresario adoptará las medidas necesarias para que la utilización por los trabajadores de equipos con pantallas de visualización no suponga riesgos para su seguridad o salud o, si ello no fuera posible, para que tales riesgos se reduzcan al mínimo.

En cualquier caso, los puestos de trabajo a que se refiere el presente Real Decreto deberán cumplir las disposiciones mínimas establecidas en el anexo del mismo.

2. A efectos de lo dispuesto en el primer párrafo del apartado anterior, el empresario deberá evaluar los riesgos para la seguridad y salud de los trabajadores, teniendo en cuenta en particular los posibles riesgos para la vista y los problemas físicos y de carga mental, así como el posible efecto añadido o combinado de los mismos.

La evaluación se realizará tomando en consideración las características propias del puesto de trabajo y las exigencias de la tarea y entre estas, especialmente, las siguientes:

- a) El tiempo promedio de utilización diaria del equipo.
  - b) El tiempo máximo de atención continua a la pantalla requerido por la tarea habitual.
  - c) El grado de atención que exija dicha tarea.
3. Si la evaluación pone de manifiesto que la utilización por los trabajadores de equipos con pantallas de visualización supone o puede suponer un riesgo para su seguridad o salud, el empresario adoptará las medidas técnicas u organizativas necesarias para eliminar o reducir el riesgo al mínimo posible. En particular, deberá reducir la duración máxima del trabajo continuado en pantalla, organizando la actividad diaria de forma que esta tarea se alterne con otras o estableciendo las pausas necesarias cuando la alternancia de tareas no sea posible o no baste para disminuir el riesgo suficientemente.
  4. En los convenios colectivos podrá acordarse la periodicidad, duración y condiciones de organización de los cambios de actividad y pausas a que se refiere el apartado anterior.

#### Artículo 4. Vigilancia de la salud

1. El empresario garantizará el derecho de los trabajadores a una vigilancia adecuada de su salud, teniendo en cuenta en particular los riesgos para la vista y los problemas físicos y de carga mental, el posible efecto añadido o combinado de los mismos, y la eventual patología acompañante. Tal vigilancia será realizada por personal sanitario competente y según determinen las autoridades sanitarias en las pautas y protocolos que se elaboren, de conformidad con lo dispuesto en el apartado 3 del artículo 37 del Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los servicios de prevención. Dicha vigilancia deberá ofrecerse a los trabajadores en las siguientes ocasiones:
  - a) Antes de comenzar a trabajar con una pantalla de visualización.
  - b) Posteriormente, con una periodicidad ajustada al nivel de riesgo a juicio del médico responsable.
  - c) Cuando aparezcan trastornos que pudieran deberse a este tipo de trabajo.

2. Cuando los resultados de la vigilancia de la salud a que se refiere el apartado 1 lo hiciese necesario, los trabajadores tendrán derecho a un reconocimiento oftalmológico.
3. El empresario proporcionará gratuitamente a los trabajadores dispositivos correctores especiales para la protección de la vista adecuados al trabajo con el equipo de que se trate, si los resultados de la vigilancia de la salud a que se refieren los apartados anteriores demuestran su necesidad y no pueden utilizarse dispositivos correctores normales.

#### Artículo 5. Obligaciones en materia de información y formación

1. De conformidad con los artículos 18 y 19 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales, el empresario deberá garantizar que los trabajadores y los representantes de los trabajadores reciban una formación e información adecuadas sobre los riesgos derivados de la utilización de los equipos que incluyan pantallas de visualización, así como sobre las medidas de prevención y protección que hayan de adoptarse en aplicación del presente Real Decreto.
2. El empresario deberá informar a los trabajadores sobre todos los aspectos relacionados con la seguridad y la salud en su puesto de trabajo y sobre las medidas llevadas a cabo de conformidad con lo dispuesto en los artículos 3 y 4 de este Real Decreto.
3. El empresario deberá garantizar que cada trabajador reciba una formación adecuada sobre las modalidades de uso de los equipos con pantallas de visualización, antes de comenzar este tipo de trabajo y cada vez que la organización del puesto de trabajo se modifique de manera apreciable.

#### ANEXO. Disposiciones Mínimas

Observación preliminar: las obligaciones que se establecen en el presente anexo se aplicarán para alcanzar los objetivos del presente Real Decreto en la medida en que, por una parte, los elementos considerados existan en el puesto de trabajo y, por otra, las exigencias o características intrínsecas de la tarea no se opongan a ello.

En la aplicación de lo dispuesto en el presente anexo se tendrán en cuenta, en su caso, los métodos o criterios a que se refiere el apartado 3 del artículo 5 del Real Decreto de los Servicios de Prevención.

1. Equipo

a) Observación general.

La utilización en sí misma del equipo no debe ser una fuente de riesgo para los trabajadores.

b) Pantalla.

Los caracteres de la pantalla deberán estar bien definidos y configurados de forma clara, y tener una dimensión suficiente, disponiendo de un espacio adecuado entre los caracteres y los renglones.

La imagen de la pantalla deberá ser estable, sin fenómenos de destellos, centelleos u otras formas de inestabilidad.

El usuario de terminales con pantalla deberá poder ajustar fácilmente la luminosidad y el contraste entre los caracteres y el fondo de la pantalla, y adaptarlos fácilmente a las condiciones del entorno.

La pantalla deberá ser orientable e inclinable a voluntad, con facilidad para adaptarse a las necesidades del usuario.

Podrá utilizarse un pedestal independiente o una mesa regulable para la pantalla.

La pantalla no deberá tener reflejos ni reverberaciones que puedan molestar al usuario.

c) Teclado.

El teclado deberá ser inclinable e independiente de la pantalla para permitir que el trabajador adopte una postura cómoda que no provoque cansancio en los brazos o las manos.

Tendrá que haber espacio suficiente delante del teclado para que el usuario pueda apoyar los brazos y las manos.

La superficie del teclado deberá ser mate para evitar los reflejos.

La disposición del teclado y las características de las teclas deberán tender a facilitar su utilización.

Los símbolos de las teclas deberán resaltar suficientemente y ser legibles desde la posición normal de trabajo.

d) Mesa o superficie de trabajo.

La mesa o superficie de trabajo deberán ser poco reflectantes, tener dimensiones suficientes y permitir una colocación flexible de la pantalla, del teclado, de los documentos y del material accesorio.

El soporte de los documentos deberá ser estable y regulable y estará colocado de tal modo que se reduzcan al mínimo los movimientos incómodos de la cabeza y los ojos.

El espacio deberá ser suficiente para permitir a los trabajadores una posición cómoda.

e) Asiento de trabajo.

El asiento de trabajo deberá ser estable, proporcionando al usuario libertad de movimiento y procurándole una postura confortable.

La altura del mismo deberá ser regulable.

El respaldo deberá ser reclinable y su altura ajustable.

Se pondrá un reposapiés a disposición de quienes lo deseen.

2. Entorno

a) Espacio.

El puesto de trabajo deberá tener una dimensión suficiente y estar acondicionado de tal manera que haya espacio suficiente para permitir los cambios de postura y movimientos de trabajo.

b) Iluminación.

La iluminación general y la iluminación especial (lámparas de trabajo), cuando sea necesaria, deberán garantizar unos niveles adecuados de iluminación y unas relaciones adecuadas de luminancias entre la pantalla y su entorno, habida cuenta del carácter del trabajo, de las necesidades visuales del usuario y del tipo de pantalla utilizado.

El acondicionamiento del lugar de trabajo y del puesto de trabajo, así como la situación y las características técnicas de las fuentes de luz artificial, deberán coordinarse de tal manera que se eviten los deslumbramientos y los reflejos molestos en la pantalla u otras partes del equipo.

c) Reflejos y deslumbramientos.

Los puestos de trabajo deberán instalarse de tal forma que las fuentes de luz, tales como ventanas y otras aberturas, los tabiques transparentes o translúcidos y los equipos o tabiques de color claro no provoquen deslumbramiento directo ni produzcan reflejos molestos en la pantalla.

Las ventanas deberán ir equipadas con un dispositivo de cobertura adecuado y regulable para atenuar la luz del día que ilumine el puesto de trabajo.

d) Ruido.

El ruido producido por los equipos instalados en el puesto de trabajo deberá tenerse en cuenta al diseñar el mismo, en especial para que no se perturbe la atención ni la palabra.

e) Calor.

Los equipos instalados en el puesto de trabajo no deberán producir un calor adicional que pueda ocasionar molestias a los trabajadores.

f) Emisiones.

Toda radiación, excepción hecha de la parte visible del espectro electromagnético, deberá reducirse a niveles insignificantes desde el punto de vista de la protección de la seguridad y de la salud de los trabajadores.

g) Humedad.

Deberá crearse y mantenerse una humedad aceptable.

3. Interconexión ordenador/persona

Para la elaboración, la elección, la compra y la modificación de programas, así como para la definición de las tareas que requieran pantallas de visualización, el empresario tendrá en cuenta los siguientes factores:

- a) El programa habrá de estar adaptado a la tarea que deba realizarse.
- b) El programa habrá de ser fácil de utilizar y deberá, en su caso, poder adaptarse al nivel de conocimientos y de experiencia del usuario; no deberá utilizarse ningún dispositivo cuantitativo o cualitativo de control sin que los trabajadores hayan sido informados y previa consulta con sus representantes.
- c) Los sistemas deberán proporcionar a los trabajadores indicaciones sobre su desarrollo.
- d) Los sistemas deberán mostrar la información en un formato y a un ritmo adaptados a los operadores.
- e) Los principios de ergonomía deberán aplicarse en particular al tratamiento de la información por parte de la persona.

## 5.2. Pliego de condiciones específicas

---

### 5.2.1. Especificaciones de los recursos

En esta sección se expondrán las características y requerimientos derivados del Real Decreto 488/1997, puesto que el trabajo realizado ha sido en su mayor parte de carácter computacional. Así pues, se especificarán las necesidades de los diferentes recursos empleados para el desarrollo de este trabajo.

#### Personal

Adicionalmente al trabajador encargado de la realización de este estudio, han sido necesarios una tutora y un cotutor con diferentes labores. En una primera instancia, se encargaron de definir la temática y contenidos mínimos del trabajo. Tras esto, se dedicaron a guiar al alumno durante el desarrollo del estudio ofreciendo ayuda y consejo ante las dificultades y cuestiones derivadas del análisis. Finalmente, resolvieron dudas de la redacción del trabajo y preparación del PowerPoint, así como de la defensa del trabajo de fin de grado.

#### Hardware informático

El hardware necesitado para el estudio ha de cumplir unas condiciones mínimas de capacidad RAM y de velocidad de procesamiento. Puesto que se ha necesitado leer datos de mediciones tomadas por segundos durante semanas enteras, el ordenador empleado ha de ser capaz de almacenar todos estos valores leídos en su memoria RAM sin disminuir sus capacidades y prestaciones. Así mismo, ha de presentar una velocidad de procesamiento elevada para reducir en la medida de lo posibles los tiempos de lectura y cálculo, ya que el programa base empleado en el trabajo se ha aplicado individualmente a todas las variables y periodos estudiados. El portátil que se ha empleado ha sido el Lenovo IdeaPad 310, con un procesador de 7ª generación Intel® Core™ i7 y 4 GB de memoria RAM.

Respecto al monitor extra que se ha empleado, ha sido necesario para facilitar en gran medida el trabajo con la opción de tener abiertas varias ventanas simultáneas y aumentar la salud visual del alumno siguiendo el Real Decreto 488/1997. El modelo

específico de monitor ha sido un Philips E Line 278E1A de 27 pulgadas y una resolución máxima de 3840 x 2160 píxeles con una tasa de refresco de 60 Hz.

### Software informático

Adicionalmente a la versión de 2021 del paquete de office que cuenta con Word, PowerPoint y Excel, tan solo ha sido necesario el entorno de desarrollo de Python. Esto incluye Visual Studio Code, Jupyter Notebook y las librerías necesarias especificadas previamente. Como se ha comentado con anterioridad, todas estas aplicaciones y Python, son completamente gratuitas facilitando en gran medida la reproducibilidad de los análisis. La versión de Python empleada para el estudio ha sido Py 3.10 (la más actual, del año 2021). Esta versión es compatible con todas las anteriores versiones hasta Py 3.2, pero presenta algunas variaciones significativas con respecto a versiones anteriores, por lo que la ejecución del código podría causar algún error de incompatibilidad.

### Instalaciones

El trabajo se ha realizado en su totalidad en el despacho del alumno. Este cumple con la normativa especificada con el Real Decreto 488/1997 al tratarse de una sala independiente de la casa con ventilación, sin distracciones y un espacio de trabajo cómodo consistente en escritorio de grandes proporciones (capaz de abarcar el hardware necesario) y una silla de oficina ergonómica.

Por otra parte, las reuniones se han llevado a cabo en el despacho de los tutores, con espacio suficiente para mantener charlas, compartir información y trabajar con el portátil.

#### 5.2.2. Especificaciones de ejecución

El código generado en Python para la lectura y análisis de este trabajo ha seguido un orden lógico que facilita su ejecución y permite realizarla linealmente, es decir, al darle en orden ascendente, se puede realizar la obtención de los estadísticos, regresiones, gráficas y demás. Se han incluido ejemplos de código siguiendo el orden establecido en la sección 7 ANEXOS.

Cómo se ha explicado, el entorno de desarrollo Jupyter Notebook permite dividir el código en celdas de individual ejecución. En la primera celda se realiza la carga de las diferentes librerías y funciones necesarias. En la siguiente, se realiza la lectura de datos desde las carpetas asignadas. Cabe comentar que este proceso puede dilatarse en el tiempo hasta los 5 minutos debido a la gran cantidad de datos de lectura. A continuación, se juntan las series temporales de las diferentes variables como se especifica en 3.2. A partir de este punto, se cargan individualmente las funciones de las regresiones, normales y avanzadas, y se realizan con la serie de datos. Tras esto, solo quedan las comprobaciones individuales de las regresiones, que ya no importa en qué orden se realicen mientras estas estén cargadas.

---

---

## **6.PRESUPUESTO**

---

## 6.1. Desglose del presupuesto

---

Para la realización del cómputo del presupuesto se ha realizado primeramente un desglose considerando los diferentes tipos de gastos y su origen. Para estos cálculos, no se ha considerado el coste de los futuros experimentos ni de la misión del globo sonda, puesto que solo se tratan de ideas todavía a explorar y no se han decidido ciertos componentes, como los multímetros, puesto que dependen del material disponible por parte de la universidad.

### 6.1.1. Horas de trabajo

Para calcular el total de horas que se han empleado en la elaboración de este trabajo se han realizado diversas estimaciones teniendo en cuenta las diferentes etapas del trabajo.

Para concertar el trabajo y facilitar la información necesaria para su realización se mantuvieron múltiples reuniones con los diferentes tutores de manera individual y colectiva. Se estima que estas reuniones previas que se dieron desde enero de 2022 dan un total de unas 15 horas.

Tras estas reuniones, se inició el TFG en abril. Puesto que todavía era época de exámenes y final de curso durante este mes se dedicaron tan solo tres horas diarias a su elaboración. Durante los siguientes dos meses, marzo y junio, se dedicaron en torno a las seis horas diarias. En estas horas se incluyen las diversas reuniones que se realizaron con los tutores. Considerando que no se tomaron días festivos más allá de los fines de semana, que un mes tiene 4 semanas aproximadamente y cinco días laborales por semana se obtiene:

$$\text{Horas Abril} \rightarrow 3 \frac{\text{horas}}{\text{día}} \cdot 5 \frac{\text{día}}{\text{semana}} \cdot 4 \frac{\text{semanas}}{\text{mes}} \cdot 1 \text{ mes} = 60 \text{ horas}$$

$$\text{Horas Mayo y Junio} \rightarrow 6 \frac{\text{horas}}{\text{día}} \cdot 5 \frac{\text{día}}{\text{semana}} \cdot 4 \frac{\text{semanas}}{\text{mes}} \cdot 2 \text{ mes} = 240 \text{ horas}$$

Esto hace un total de 315 horas de trabajo. Adicionalmente se estima que las horas de trabajo se han distribuido de la siguiente manera, considerando las diferentes partes del trabajo:

Actividad	% de las horas totales
Programación	55
Redacción	35
Reuniones	5
Elaboración Presentación	5

Tabla 19. Desglose actividades

Así pues, considerando un salario medio de 11.50 €/hora que puede obtener aproximadamente un ingeniero aeroespacial recién egresado, se estima que el coste total de las horas de trabajo es de:

$$\text{Coste Horas de Trabajo} = 315 \text{ horas} \cdot 11.50 \frac{\text{€}}{\text{hora}} = 3622.5 \text{ €}$$

### 6.1.2. Software

Como se ha comentado, el software que se ha empleado para la realización del trabajo es en su mayoría gratuito para facilitar la reproducibilidad del análisis. Adicionalmente a Python y su entorno de desarrollo (también de acceso libre), se han empleado Word, Excel y PowerPoint del paquete de Office. De este modo, tan solo se necesita la tasa horaria del paquete individual de Office para poder calcular el coste asociado al software.

$$t_{h-office} = \frac{69.00 \frac{\text{€}}{\text{año}}}{1840 \frac{\text{hora}}{\text{año}}} = 0.04 \frac{\text{€}}{\text{hora}}$$

Considerando que tan solo se ha empleado el paquete de office un 40 % del tiempo, se obtiene que el coste del software es:

$$\text{Coste Software} = 40 \% \cdot 315 \text{ horas} \cdot 0.04 \frac{\text{€}}{\text{hora}} = 5.04 \text{ €}$$

### 6.1.3. Hardware

En el caso del hardware que ha sido necesario para este trabajo, se reduce a lo mínimo para una estación de trabajo. Esta ha consistido únicamente en un portátil y un monitor extra. Los precios de los productos son los costes de adquisición en su momento de compra. Estos dispositivos se han empleado durante las 315 horas que ha durado todo el proyecto.

- Portátil Lenovo Ideapad 310-15IKB

Estimando un valor residual del 20 %, un periodo de amortización de 5 años y aproximadamente 1840 horas de trabajo al año.

$$a_{\text{portátil}} = \frac{804.87 - 160.97}{5} = 128.78 \frac{\text{€}}{\text{año}}$$

$$t_{h\text{-portátil}} = \frac{128.78 \frac{\text{€}}{\text{año}}}{1840 \frac{\text{horas}}{\text{año}}} = 0.070 \frac{\text{€}}{\text{hora}}$$

$$\text{Coste Portátil} = 315 \text{ horas} \cdot 0.070 \frac{\text{€}}{\text{hora}} = 22.05 \text{ €}$$

- Monitor Philips E Line 278E1A

Estimando también un valor residual del 20 %, un periodo de amortización de 5 años.

$$a_{\text{monitor}} = \frac{371.61 - 74.32}{5} = 59.46 \frac{\text{€}}{\text{año}}$$

$$t_{\text{monitor}} = \frac{59.46 \frac{\text{€}}{\text{año}}}{1840 \frac{\text{horas}}{\text{año}}} = 0.032 \frac{\text{€}}{\text{hora}}$$

$$\text{Coste Monitor} = 315 \text{ horas} \cdot 0.032 \frac{\text{€}}{\text{hora}} = 10.18 \text{ €}$$

- Coste total del hardware

$$\text{Coste Hardware} = \text{Coste Portátil} + \text{Coste Monitor} = 32.23 \text{ €}$$

#### 6.1.4. Costes indirectos

En los costes indirectos se van a considerar aquellos costes que han resultado completamente necesarios para la realización de este trabajo. Estos incluyen la factura eléctrica del equipo empleado y los costes de desplazamiento para las reuniones.

- Factura eléctrica

Se ha considerado que ambos dispositivos, portátil y monitor, se han empleado el 100% de las horas de trabajo y que tienen una potencia de 39 Wh y 20.3 Wh respectivamente. Adicionalmente, el precio de la electricidad rondaba los 0.21668 €/kWh el día 29 de mayo de 2022 (fecha a mitad del proyecto).

$$\text{Coste Electricidad} = 315 \text{ horas} \cdot (0.039 \text{ kWh} + 0.0203 \text{ kWh}) \cdot 0.21668 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 4.05 \text{ €}$$

- Transporte

Para la realización de las reuniones el alumno se desplazó a razón de dos veces por semana la UPV. Considerando un total de 24 reuniones aproximadamente y que los desplazamientos se realizaron siempre con metro, con un coste cada ida y vuelta de un total de 1.44 €.

$$\text{Coste Transporte} = 24 \text{ viajes} \cdot 1.44 \frac{\text{€}}{\text{viaje}} = 34.56 \text{ €}$$

- Coste total indirecto

$$\text{Coste Indirecto} = \text{Coste Electricidad} + \text{Coste Transporte} = 38.61 \text{ €}$$

## 6.2. Coste total

---

Considerando todos los costes estimados y un 21 % de IVA se obtienen los siguientes costes totales.

Coste horas de trabajo	3622.5 €
Coste software	5.04 €
Coste hardware	32.23 €
Costes indirectos	38.61 €
Presupuesto total	3698.38 €
Presupuesto con IVA	4475.04 €

*Tabla 20. Presupuesto total*

---

---

## **7. ANEXOS**

---

## 7.1. Ejemplos de código de Python

---

A continuación, se adjuntan algunos de los fragmentos de código que se han empleado para este estudio. No se incorpora todo el código, ya que hay múltiples comprobaciones adicionales de estadísticas y gráficas de algunas variables y/o modelos cuando se daba algún caso anómalo. Este código base se encuentra adaptado al formato y a los datos generales, pero hay que adaptarlo para el estudio individual de cada variable y periodo.

### Importación de las librerías principales

```
#Importacion de librerias principales
import glob
import pandas as pd
import numpy as np

import matplotlib.pyplot as plt
import seaborn as sns

from datetime import datetime

import math
import statsmodels.api as sm
import scipy
import sklearn
```

### Lectura de datos de una carpeta

```
# Importar todos los .txt de una carpeta
directorio = "./datosResistencia/Periodo1/" # Directorio principal
directorio2 = "Periodo1Figuras/" # Directorio figuras

lista_documentos = list()
for file_name in glob.glob(directorio + "*.txt"):
    x = pd.read_csv(file_name, sep="\t", header=None)
    lista_documentos.append(x)
datos = pd.concat(lista_documentos, axis=0)
```

## Resolución de un minuto y agrupación de todos los valores

```

# Estadísticas por minuto de la variable independiente
stats = ind.groupby(['Fecha Hora Minutos'])['Ind (H)'].agg(['mean','median'])
stats.reset_index(inplace=True)
stats.rename(columns = {'median':'Median Ind (H)', 'mean':'Mean Ind (H)'},
inplace = True)
stats["completo"] = pd.to_datetime(stats['Fecha Hora
Minutos'].astype(str).str[:] + ":00")

temp = temphum.drop(["Rh (%)"],axis=1)
hum = temphum.drop(["T (°C)"],axis=1)

# Agrupación de los datos
datos1 = pd.merge(stats, temp, how='outer')
datos1 = pd.merge(datos1, hum, how='outer')
datos1.dropna(axis=0, inplace=True, subset=["Mean Ind (H)"])

datos2 = pd.merge(stats, ncps, how='outer')
datos2 = pd.merge(datos2, symh, how='outer')
datos2.dropna(axis=0, inplace=True, subset=["Mean Ind (H)"])

datos = pd.merge(datos1, datos2, how='outer',on=['Fecha Hora Minutos',
'Median Ind (H)', 'Mean Ind (H)', 'completo', 'Date', 'HH:MM:SS',
'TiempoUTC'])

# Primero eliminar las filas dónde no hay datos de inductancia
datos.dropna(axis=0, inplace=True, subset=["Mean Ind (H)"])

#Segunda opción de eliminar las filas en las que falte algún dato
datos.dropna(axis=0,inplace=True)

# Convertir los datos en numéricos

datos[['T (°C)', 'Rh (%)', 'SYM-H (nT)', 'N (cps)', 'Median Ind (H)', 'Mean Ind
(H)']] = datos[['T (°C)', 'Rh (%)', 'SYM-H (nT)', 'N (cps)', 'Median Ind
(H)', 'Mean Ind (H)']].apply(pd.to_numeric)

```

## Estadísticas básicas de la variable independiente

```

# Estadísticas básicas de la variable independiente
stats10 = ind.groupby(['Fecha Hora Minutos'])['R (Ω)'].agg(['mean', 'count',
'std', 'skew'])

stats10['kurtosis'] = ind.groupby(['Fecha Hora Minutos'])['Ind
(H)'].apply(pd.DataFrame.kurt)

# Generación de los intervalos de confianza de 95%
ci95_hi = []
ci95_lo = []
ci95_dev = []

for i in stats10.index:
    m, c, s, sk, kurt = stats10.loc[i]
    ci95_hi.append(m + 1.96*s/math.sqrt(c))
    ci95_lo.append(m - 1.96*s/math.sqrt(c))
    ci95_dev.append(100*(1.96*s/math.sqrt(c))/m)

stats10['ci95_hi'] = ci95_hi
stats10['ci95_lo'] = ci95_lo
stats10['ci95_dev'] = ci95_dev

# Medias de algunos estadísticos
meanskew = stats10["skew"].mean()
meankurtosis = stats10["kurtosis"].mean()

stats10.reset_index(inplace=True)

# Impresión por pantalla de valores
print(stats10)
print('-'*30)
print(meanskew)
print('-'*30)
print(meankurtosis)

```

## Función para las regresiones básicas

```
def basicregressions(X, Y):
    # Generación y ajuste de los modelos OLS y RLS. Imprime características
    # principales por pantalla y devuelve los modelos

    modOLS = sm.OLS(Y, X)
    modelOLS = sm.OLS(Y, X).fit()

    modRLM = sm.RLM(Y, X)
    modelRLM = sm.RLM(Y, X).fit()

    r2_wls = sm.WLS(modRLM.endog, modRLM.exog,
weights=modRLM.fit().weights).fit().rsquared # Obtención de R-Square para RLM

    # Impresión por pantalla de valores
    print('Modelo OLS')
    print(modelOLS.summary())
    print('R-squared: %5.6f' % modelOLS.rsquared)
    print('-'*200)
    print('Modelo RLS')
    print(modelRLM.summary())
    print('R-squared: %5.6f' % r2_wls)
    print('-'*200)

    return (modelRLM, modelOLS)
```

## Características generales de los gráficos

```
# Características generales de los gráficos
sns.set(rc = {'figure.figsize':(15,8)})
sns.set_theme(style="whitegrid")
sns.axes_style("darkgrid")
```

## Comprobación de la linealidad

```
# Predicciones y resultados reales
predictions = modelOLS.predict(X)
df_results = pd.DataFrame({'Medido (H)': Y, 'Predicho (H)': predictions})

# Representación valores reales vs predichos
sns.lmplot(x='Medido (H)', y='Predicho (H)', data=df_results,
fit_reg=False,height=10,aspect=1.15,markers='.',legend=True)

line_coords = np.arange(df_results['Predicho (H)'].min().min(),
df_results.max().max()) # Línea diagonal
plt.plot(line_coords, line_coords,color='darkorange', linestyle='-')
plt.title('Medido vs Predicho')
plt.legend(labels=['Puntos', 'Linea Diagonal Ideal'])

# Guardar la figura
plt.savefig(directorio + directorio2 + "PrediccionesModeloOLS.png", dpi =
150,bbox_inches='tight')

#Mostrar la figura por pantalla

plt.show()
```

## Representación de la homocedasticidad de los residuos

```
# Gráfico de dispersión
ax1 = plt.scatter(x=datos[["completo", y=modelOLS.resid,marker='.'])
plt.title("Residuales")
plt.xlabel('Fecha')
plt.ylabel('Residuales( $\sigma$ )')

# Guardar la figura
plt.savefig(directorio + directorio2 + "Residuales.png", dpi = 150,
bbox_inches='tight')

#Mostrar la figura por pantalla
plt.show()
```

## Comprobación de la normalidad de los residuos

```
# Comprobación distribución normal con el test de Anderson
pruebaResid=scipy.stats.anderson(modelOLS.resid, dist='norm')

# Imprimir por pantalla los resultados
if pruebaResid.critical_values[3] > pruebaResid.statistic:
    print('El test de Anderson indica que es una distribución normal con más
del 99% de confianza')
else:
    print('No es una distribución normal')
```

## Cálculo de los índices de correlación y representación

```
# Selección variables a representar
df = pd.DataFrame(datos,columns=['T (°C)', 'Rh (%)', 'SYM-H (nT)', 'N
(cps)'])

# Calculo de las matrices de correlación de ambos índices
corrMatrixP = df.corr(method='spearman')
corrMatrixS = df.corr(method='pearson')

# Generación de los subplots
f,(ax1,ax2) = plt.subplots(1,2,sharey=False,
figsize=(15,6),gridspec_kw={'width_ratios': [8, 10]})

g1 = sns.heatmap(corrMatrixS, annot=True, vmin=-1,
vmax=1,cbar=False,ax=ax1)
g1.set_title('Correlación Spearman')

g2 = sns.heatmap(corrMatrixP, annot=True, vmin=-1, vmax=1,ax=ax2)
g2.set_title('Correlación Pearson')

# Guardar la figura
plt.savefig(directorio + directorio2 + "Correlaciones.png", dpi =
150,bbox_inches='tight')

#Mostrar la figura por pantalla
plt.show()
```

## Cálculo FIV

```
# Selección de datos y se centran (necesario para el FIV)
df = pd.DataFrame(datos, columns=['T (°C)', 'Rh (%)', 'SYM-H (nT)']).iloc[1200:]
df = (df-df.mean())

# Cálculo del FIV e impresión por pantalla
VIF = [variance_inflation_factor(df, i) for i in range(df.shape[1])]
for idx, vif in enumerate(VIF):
    print('{0}: {1:.2f}'.format(df.columns[idx], vif))
```

---

---

## 8. BIBLIOGRAFÍA

---

- [1] V. Milián Sánchez, A. Mocholí Salcedo, C. Milián, V. A. Kolombet y G. Verdú Martín, «Anomalous effects on radiation detectors and capacitance measurements inside a modified Faraday cage,» *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A*, 2016.
- [2] V. Milián Sánchez, F. Schokmann, P. Fernández de Córdoba, A. Mocholí Salcedo, F. Mocholi, M. E. Iglesias Martínez, J. C. Castro Palacio, V. A. Kolombet, V. A. Panchelyuga y G. Verdú, «Fluctuations in measured radioactive decay rates inside a modified Faraday cage: Correlations with space weather,» de *Scientific Reports*, 2020.
- [3] V. Milián-Sánchez et al., «First observations of the resistance variability inside a periodic interleaving structure (sin publicar)».
- [4] V. Milián-Sánchez et al., «Variability of coil inductance measurements inside an interleaving structure (sin publicar)».
- [5] V. Milián-Sánchez et al., «More anomalous capacitance measurements inside an interleaving structure (sin publicar)».
- [6] W. G. Salgado, V. Sanchez Padilla, J. I. Hidalgo y P. A. , «Principle of Faraday Cages Applied to Avionics and Aircraft Radar,» vol. 1, *Proceedings of the World Congress on Engineering*, 2016.

- [7] S. J. Chapman, D. P. Hewett y L. N. Trefethen, *Mathematics of the Faraday Cage*, Society for Industrial and Applied Mathematics, 2015.
- [8] S. A. Schelkunoff, «Electromagnetic Waves,» vol. 4.3 Currents across a Closed Surface, Michigan, Van Nostrand, 1943, pp. 72-74.
- [9] R. B. Cowdell, «Simplified Shielding,» *IEEE Electromagnetic Compatibility Symposium Record*, 1967, pp. 1-14.
- [10] H. W. Ott, «Shielding,» de *Electromagnetic Compatibility Engineering*, 2009, pp. 238-301.
- [11] B. M. Notaros, «Electromagnetics,» de *Electromagnetics*, Pearson, 2011, pp. 46-47.
- [12] P. Chithra Kirthi Gamini, A. Udaya, G. Aniruddha, R. Athula y P. Upeka, «The heuristic model of energy propagation in free space, based on the detection of a current induced in a conductor inside a continuously covered conducting enclosure by an external radio frequency source,» 1 ed., vol. 18, *Open Physics*, 2020, pp. 212-229.
- [13] E. L. Bronaugh, *A Handbook Series on Electromagnetic Interference and Compatibility: Electromagnetic Interference Test Methodology and Procedures*, Emf-Emi Control, 1988.
- [14] D. A. Hill, D. G. Camell, K. H. Cavcey y G. H. Koepke, «Radiated emissions and immunity of microstrip transmission lines: theory and reverberation chamber measurements,» de *IEEE TRANSACTIONS ON ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY*, vol. 38, 1996.
- [15] K. L. Kaiser, *Electromagnetic Shielding*, Flint, Michigan: Taylor & Francis, 2005.
- [16] W. Reich, *Selected Writings: an Introduction to Orgonomy*, NY: Farrar, Straus and Cudahy, 1960.

- [17] S. Müschenich y R. Gebauer, «The Psycho-Physiological Effects of the Reich Orgone Energy Accumulator,» de *Pulse of the Planet, Natural Energy Works*, 1989.
- [18] N. Farashchuk, M. Fomitchev-Zamilov y Y. Tsyuman, «A Preliminary Study of the Effects of Reich's Orgone Accumulator on Oats Seed Sprouting and the Structure of Water,» de *WATER*, 2014.
- [19] G. Abrami y G. Piccardi, «Seed germination as a biological test for the study of fluctuating phenomena,» de *Journal of Interdisciplinary Cycle Research*, vol. 4, 1973, pp. 267-282.
- [20] F. Scholkmann, V. Milián Sánchez, A. Mocholí Salcedo, G. J. Verdú Martín y C. K. Milián Enrique, «Anomalous effects of radioactive decay rates and capacitance values measured inside a modified Faraday cage: Correlations with space weather,» vol. 117(6), *EPL (Europeanphysics Letters)*, 2016.
- [21] M. R. Ward, «Electrical Engineering Science,» McGraw-Hill Education, 1971.
- [22] S. Pommé y K. Pelczar, «On the recent claim of correlation between radioactive decay rates and space weather,» *The European Physical Journal C*, 2020.
- [23] T. Iyemori, M. Takeda, M. Nose, Y. Odagi y H. Toh, «Mid-latitude Geomagnetic Indices "ASY" and "SYM" for 200 (Provisional),» *Data Analysis Center for Geomagnetism and Space Magnetism*, 2010. [En línea]. Available: [http://isgi.unistra.fr/Documents/References/Iyemori\\_et\\_al\\_2010.pdf](http://isgi.unistra.fr/Documents/References/Iyemori_et_al_2010.pdf). [Último acceso: 15 06 2022].
- [24] J. A. Wannliss y K. M. Showalter, High-resolution global storm index: Dst versus SYM-H. *J. Journal of Geophysical Research*, 2006.
- [25] F. Scholkmann, G. Miscio, R. Tarquini, A. Bosi, R. Rubino, L. di Mauro y G. Mazzoccoli, «The circadecadal rhythm of oscillation of umbilical cord blood parameters correlates with

geomagnetic activity – An analysis of long-term measurements (1999–2011),» de *Chronobiology International*, vol. 33:9, 2016.

[26] NMDB, «Guadalajara, Spain,» 05 08 2021. [En línea]. Available: <https://www.nmdb.eu/station/calm/>. [Último acceso: 06 06 2022].

[27] Agilent Technologies, «Agilent 4263B LCR Meter Operation Manual,» 03 2003. [En línea]. Available: <http://class.ece.iastate.edu/ee230/Support/Agilent%204263B%20Operators%20Manual.pdf>. [Último acceso: 11 06 2022].

[28] AOSONG, «Temperature and humidity module AM2302 Product Manual,» [En línea]. Available: <http://akizukidenshi.com/download/ds/aosong/AM2302.pdf>. [Último acceso: 11 06 2022].

[29] TE connectivity, «Carbon Film Fixed Resistor,» 09 2011. [En línea]. Available: <https://docs.rs-online.com/deda/0900766b80098b49.pdf>. [Último acceso: 16 06 2022].

[30] KEMET, «Conformally Coated SBCP Coils,» 24 05 2019. [En línea]. Available: [https://www.mouser.es/datasheet/2/212/1/KEM\\_L9008\\_SBCP-1104489.pdf](https://www.mouser.es/datasheet/2/212/1/KEM_L9008_SBCP-1104489.pdf). [Último acceso: 12 06 2022].

[31] EPCOS, «Multilayer Ceramic Capacitors,» [En línea]. Available: <https://datasheet.datasheetarchive.com/originals/distributors/DKDS-1/15967.pdf>. [Último acceso: 16 06 2022].

[32] TIOBE, «TIOBE Index for June 2022,» [En línea]. Available: <https://pypl.github.io/PYPL.html>. [Último acceso: 12 06 2022].

[33] PYPL, «PYPL PopularitY of Programming Language,» [En línea]. Available: <https://pypl.github.io/PYPL.html>. [Último acceso: 12 06 2022].

- [34] python, «What is Python? Executive Summary,» [En línea]. Available: <https://www.python.org/doc/essays/blurbl/>. [Último acceso: 12 06 2022].
- [35] python, «Comparing Python to Other Languages,» [En línea]. Available: <https://www.python.org/doc/essays/comparisons/>. [Último acceso: 12 06 2022].
- [36] Stack Overflow, «Developer Survey 2021,» [En línea]. Available: <https://insights.stackoverflow.com/survey/2021#section-most-popular-technologies-integrated-development-environment>. [Último acceso: 12 06 2022].
- [37] Statsmodels, «Ordinary Least Squares,» [En línea]. Available: <https://www.statsmodels.org/stable/examples/notebooks/generated/ols.html#Multicollinearity>. [Último acceso: 15 06 2022].
- [38] Statsmodels, «M-Estimators for Robust Linear Modeling,» [En línea]. Available: [https://www.statsmodels.org/stable/examples/notebooks/generated/robust\\_models\\_1.html](https://www.statsmodels.org/stable/examples/notebooks/generated/robust_models_1.html). [Último acceso: 15 06 2022].
- [39] M. Haelelin y A. M. Kaplan, «A Beginner's Guide to Partial Least Squares Analysis,» de *Understanding Statistics*, 2004, pp. 283-297.
- [40] H. Zou y T. Hastie, «Regularization and variable selection via the,» de *Journal of the Royal Statistical Society*, 2005, pp. 301-320.
- [41] scikit-learn, «sklearn.linear\_model.ElasticNet,» [En línea]. Available: [https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.linear\\_model.ElasticNet.html](https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.linear_model.ElasticNet.html). [Último acceso: 18 06 2022].
- [42] S.-k. Kitashirakawa-Oiwake Cho, «World Data Center for Geomagnetism, Kyoto,» Data Analysis Center for Geomagnetism and Space Magnetism, [En línea]. Available: <https://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/index.html>. [Último acceso: 06 26 2022].

- [43] Rhdv. [En línea]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/File:Wheatstonebridge.svg>. [Último acceso: 06 29 2022].
- [44] VORAGO Technologies, «SPACE PRODUCTS,» [En línea]. Available: <https://www.voragotech.com/space-products>. [Último acceso: 29 06 2022].
- [45] Space Weather Prediction Center, «Solar Cycle Progression,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.swpc.noaa.gov/products/solar-cycle-progression>. [Último acceso: 28 06 2022].
- [46] StratoFlights, «Weather Balloon 1600,» [En línea]. Available: <https://www.stratoflights.com/en/shop/weather-balloon/>. [Último acceso: 06 29 2022].
- [47] R. Moraffah, P. Seth, M. Karami, A. Bhattacharya, Q. Wang, A. Tahir, A. Raglin y H. Liu, «Causal Inference for Time series Analysis: Problems, Methods and Evaluation,» 2011.