

2018

# WIREWOOD

Investigación y desarrollo de un proceso industrial de aplicación sobre madera y tableros derivados de pinturas conductoras de la electricidad.

Nº Expte: IMDEEA/2017/79

Programa: PROYECTOS DE I+D EN COOPERACIÓN CON EMPRESAS

Paquete de trabajo 3 – Caracterización comportamiento de pinturas conductoras sobre madera y tablero.

Entregable: E3 - Caracterización comportamiento de pinturas conductoras sobre madera y tablero.

## Breve descripción.

En este documento se recogen todos los análisis teóricos y prácticos llevados a cabo sobre diferentes tipos de pinturas conductoras de la electricidad, aplicada sobre diferentes sustratos de tablero y madera.

Realizado por:  
AIDIMME



GENERALITAT  
VALENCIANA

TOTS  
A UNA  
veu

**ivACE**  
INSTITUT VALENCIÀ DE  
COMPETITIVITAT EMPRESARIAL

 **UNIO EUROPEA**  
Fons Europeu de  
Desenvolupament Regional  
*Una manera de fer Europa*

*"Projecte cofinançat pels Fons FEDER,  
dins el Programa Operatiu FEDER  
de la Comunitat Valenciana 2014 - 2020"*

Marzo /2018



## Contenido

<b>1</b>	<b>DESCRIPCIÓN Y OBJETIVOS DEL ENTREGABLE.</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>METODOLOGÍA DE TRABAJO.</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>ESTUDIO DE COMPORTAMIENTO SOBRE DIFERENTES SUSTRATOS.</b>	<b>7</b>
3.1.1	DETERMINACIÓN DE RESISTENCIA ELÉCTRICA.	7
3.1.2	CONCLUSIONES PRUEBAS RESISTENCIA ELÉCTRICA.	22
3.1.3	COMPORTAMIENTO EN ADHERENCIA.	23
3.1.4	CONCLUSIONES ADHERENCIA.	28
<b>4</b>	<b>COMPATIBILIDAD CON PROCESOS DE ACABADO.</b>	<b>29</b>
4.1.1	PROCESOS DE BARNIZADO Y LACADO.	29
4.1.2	PROCESOS DE CHAPADO.	38
4.1.3	CONCLUSIONES PROCESOS DE ACABADO.	40
	<b>RESUMEN. CONCLUSIONES.</b>	<b>41</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA.</b>	<b>42</b>

## LISTADO DE FIGURAS

FIGURA 1. ESQUEMA DEL MÉTODO DE TRABAJO. ....	6
FIGURA 2. PROCESO DE APLICACIÓN DE PINTURA CONDUCTORA DE LA ELECTRICIDAD. ....	7
FIGURA 3. PROCESO DE APLICACIÓN DE PINTURA CONDUCTORA DE LA ELECTRICIDAD. ....	8
FIGURA 4. PROMEDIO DE RESISTENCIA ELÉCTRICA POR SUSTRATO.....	8
FIGURA 5. PROMEDIO DE DIFERENCIA DE RESISTENCIA ELÉCTRICA POR SUSTRATO .....	9
FIGURA 6. PROMEDIO DE RESISTENCIA ELÉCTRICA POR SUPERFICIE PINTADA. ....	9
FIGURA 7. PROMEDIO DE RESISTENCIA ELÉCTRICA POR LONGITUD PINTADA. ....	10
FIGURA 8. PROMEDIO DE RESISTENCIA ELÉCTRICA POR GRAMAJE APLICADO. ....	10
FIGURA 9. PROMEDIO DE RESISTENCIA ELÉCTRICA POR GRAMAJE/SUPERFICIE APLICADO.....	11
FIGURA 10. PROMEDIO DE RESISTENCIA ELÉCTRICA POR GRAMAJE/SUPERFICIE APLICADO, PARA PISTAS DE 130 MM. ....	11
FIGURA 11. PROMEDIO DE DIFERENCIA DE RESISTENCIA ELÉCTRICA POR LONGITUD. ....	12
FIGURA 12. APLICACIÓN DE CAPA DE PINTURA CON DOBLE DE GRAMAJE.....	13
FIGURA 13. COMPARATIVA ENTRE PRUEBAS CON UNA Y DOS CAPAS DE PINTURA. ....	13
FIGURA 14. COMPARATIVA ENTRE PRUEBAS CON UNA Y DOS CAPAS DE PINTURA, SEGÚN SUSTRATO.....	14
FIGURA 15. RESISTENCIA ELÉCTRICA SEGÚN SUSTRATO. ....	14
FIGURA 16. RESISTENCIA ELÉCTRICA SEGÚN LONGITUD DE LA PISTA. ....	15
FIGURA 17. RESISTENCIA ELÉCTRICA SEGÚN GRAMAJE POR UNIDAD DE SUPERFICIE. ....	15
FIGURA 18. PREPARACIÓN DE PROBETAS CON PISTAS CON DIFERENTE GRAMAJE APLICADO.....	16
FIGURA 19. GRAMAJE PROMEDIO APLICADO EN CADA PISTA. ....	17
FIGURA 20. RESISTENCIA ELÉCTRICA POR CAPAS. ....	17
FIGURA 21. RESISTENCIA ELÉCTRICA PROMEDIO POR TIPO DE SUSTRATO.....	18
FIGURA 22. RESISTENCIA ELÉCTRICA PROMEDIO POR TIPO DE SUSTRATO Y CAPA.....	18
FIGURA 23. GRAMAJE PROMEDIO POR TIPO DE SUSTRATO. ....	19
FIGURA 24. RESISTENCIA ELÉCTRICA VS. GRAMAJE APLICADO.....	19
FIGURA 25. RESISTENCIA ELÉCTRICA VS. LONGITUD DE LA PISTA.....	20
FIGURA 26. PROBETAS CON NUEVAS PINTURAS. ....	20
FIGURA 27. RESISTENCIA ELÉCTRICA POR SUSTRATO Y TIPO DE PINTURA. ....	21
FIGURA 28. RESISTENCIA ELÉCTRICA POR SUSTRATO, SOLO “PINTURA 2” Y “PINTURA 3” .....	21
FIGURA 29. RESISTENCIA ELÉCTRICA POR LONGITUD PISTA Y TIPO DE PINTURA. ....	22
FIGURA 30. RESISTENCIA ELÉCTRICA POR LONGITUD PISTA, SOLO “PINTURA 2” Y “PINTURA 3” .....	22
FIGURA 31. GENERACIÓN DE PROBETAS PARA PRUEBAS DE ADHERENCIA. ....	23
FIGURA 32. PROBETAS TRAS ENSAYOS DE ADHERENCIA. ....	24
FIGURA 33. ADHERENCIA SOBRE TABLERO AGLOMERADO.....	24
FIGURA 34. ADHERENCIA SOBRE TABLERO MDF. ....	24
FIGURA 35. ADHERENCIA SOBRE TABLERO CONTRACHAPADO.....	25
FIGURA 36. ADHERENCIA SOBRE TABLERO SOLID SURFACE.....	25
FIGURA 37. PROBETAS NUEVAS PINTURAS CONDUCTORAS ELECTRICIDAD.....	26
FIGURA 38. PROBETA DE CONTRACHAPADO CON “PINTURA 2”.....	26
FIGURA 39. PROBETA DE CONTRACHAPADO CON “PINTURA 3”.....	27
FIGURA 40. PROBETA DE CONTRACHAPADO CON “PINTURA 4”.....	27
FIGURA 41. PROBETA DE MDF CON “PINTURA 2”.....	27
FIGURA 42. PROBETA DE MDF CON “PINTURA 3”.....	28
FIGURA 43. PROBETA DE CONTRACHAPADO CON “PINTURA 4”.....	28
FIGURA 44. PROBETAS TRAS APLICAR DOS TIPOS DE FONDOS.....	29
FIGURA 45. PROBETA SOBRE AGLOMERADO .....	30
FIGURA 46. PROBETA DE BARNIZ AL AGUA SOBRE AGLOMERADO.....	30
FIGURA 47. PROBETA SOBRE MDF.....	31
FIGURA 48. PROBETA DE BARNIZ AL AGUA SOBRE MDF.....	31

WIREWOOD

E3 – Caracterización comportamiento de pinturas conductoras sobre madera y tablero

---

FIGURA 49. PROBETA SOBRE CONTRACHAPADO.....	32
FIGURA 50. PROBETA DE BARNIZ AL AGUA SOBRE CONTRACHAPADO.....	32
FIGURA 51. PROBETA SOBRE AGLOMERADO. ....	33
FIGURA 52. PROBETA SOBRE AGLOMERADO, CON FONDO BASE AGUA.....	33
FIGURA 53. PROBETA SOBRE MDF.....	34
FIGURA 54. PROBETA SOBRE MDF, CON FONDO BASE AGUA.....	34
FIGURA 55. PROBETA SOBRE CONTRACHAPADO.....	34
FIGURA 56. PROBETA SOBRE CONTRACHAPADO, CON FONDO BASE AGUA.....	35
FIGURA 57. MEDICIONES Y CIRCUITOS DE PRUEBA.....	35
FIGURA 58. RESISTENCIA ELÉCTRICA POR SUSTRATO SIN APLICAR FONDO.....	36
FIGURA 59. RESISTENCIA ELÉCTRICA EN FUNCIÓN DE SUSTRATO Y TIPO DE FONDO PARA “PINTURA 2”.....	37
FIGURA 60. RESISTENCIA ELÉCTRICA EN FUNCIÓN DE SUSTRATO Y TIPO DE FONDO PARA “PINTURA 3”.....	37
FIGURA 61. RESISTENCIA ELÉCTRICA EN FUNCIÓN DE SUSTRATO Y TIPO DE FONDO PARA “PINTURA 4”.....	38
FIGURA 62. PREPARACIÓN DE PROBETAS PARA EL PROCESO DE CHAPADO.....	38
FIGURA 63. IMÁGENES DE PRENSA DE PLATOS CALIENTES UTILIZADA.....	39
FIGURA 64. PRENSADO DE MUESTRAS.....	39
FIGURA 65. ASPECTO DE LAS PROBETAS TRAS PROCESO DE CHAPADO EN CALIENTE.....	39

## 1 DESCRIPCIÓN Y OBJETIVOS DEL ENTREGABLE.

En el presente documento se presentan todas las pruebas realizadas (así como sus resultados) para caracterizar el comportamiento de diferentes tipos de pinturas conductoras de la electricidad sobre diferentes tipos de sustratos y bajo diferentes condiciones de aplicación.

El objetivo es alcanzar una visión clara de que tipo de pintura conductora de la electricidad es más conveniente utilizar en el proyecto y bajo qué condiciones.

El apartado 3 se dedica a la investigación de las propiedades conductoras de cuatro modelos concretos de pintura conductora de la electricidad. Para ello se realizan diferentes tests modificando el sustrato sobre el que se aplican las pinturas (aglomerado, contrachapado, MDF, y solid surface), la longitud de las pistas, la geometría, así como el gramaje aplicado.

A continuación, en el apartado 4, se lleva a cabo un estudio del comportamiento en adherencia de los cuatro tipos de pintura sobre los diferentes sustratos. El objetivo es comprobar que la adherencia sobre sustratos de tablero derivados de madera es adecuada.

Finalmente, en el apartado 5, se realizan pruebas para comprobar la compatibilidad de las pinturas conductoras con procesos tipo de acabado típicos en el sector del mueble como son el barnizado (o lacado) y el chapado.

## 2 METODOLOGÍA DE TRABAJO.

La metodología de trabajo seguida se basa en una investigación de tipo cuantitativo donde el objetivo es identificar la combinación de pintura conductora y sustrato más apropiada para trabajar en el sector del mueble según los objetivos planteados al inicio del proyecto.

Para ello se ha combinado una actividad inicial de búsqueda bibliográfica con extensas pruebas de laboratorio, para dar lugar al análisis de dicha información, materializándose sus resultados en los diferentes apartados del presente entregable.

A partir de búsqueda inicial se han identificado pinturas conductoras de la electricidad con potencial para ser aplicadas en el proyecto.

A partir de éste punto inicial se han llevado a cabo diferentes experimentos combinando variables como: tipo de pintura, sustrato sobre el que se aplica, longitud de la pista, gramaje aplicado, o procesos de acabado sobre la pintura conductora.

El análisis conjunto e individual de los resultados de cada prueba ha permitido ir concentrando las conclusiones acerca de la combinación más adecuada para trabajar en el PT4.

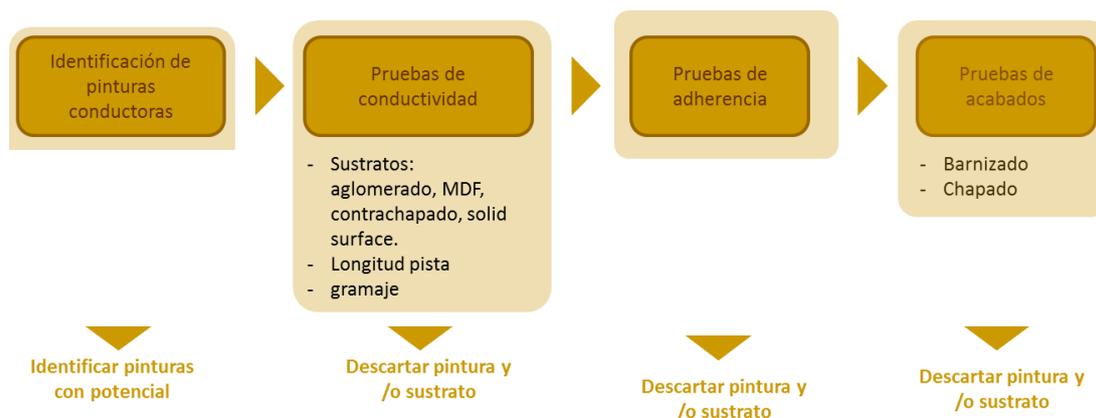


Figura 1. Esquema del método de trabajo.

Fuente: elaboración propia.

### 3 ESTUDIO DE COMPORTAMIENTO SOBRE DIFERENTES SUSTRATOS.

#### 3.1.1 DETERMINACIÓN DE RESISTENCIA ELÉCTRICA.

##### Pruebas iniciales “Pintura 1” sobre 4 sustratos.

- Proceso de pintado.

Se dibujan sobre los cuatro sustratos iniciales (aglomerado, contrachapado, mdf, y solid Surface) pistas con superficie idéntica a la proporcionada por la ficha técnica del fabricante de la pintura conductora “Pintura 1”.

Se cubre la periferia del área a pintar con cinta protectora.

A continuación se aplica una cantidad de pintura mínima para cubrir totalmente la superficie a pintar.

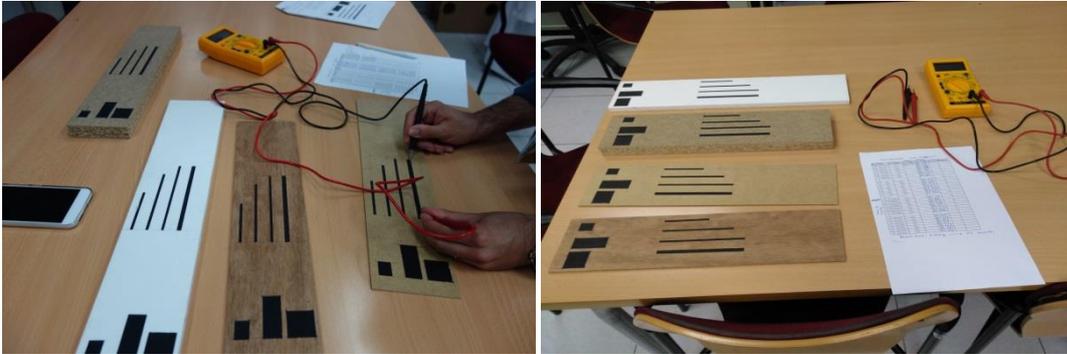
Se espera a que la pintura esté seca (máximo 24h) y se retira la cinta protectora.



Figura 2. Proceso de aplicación de pintura conductora de la electricidad.  
Fuente: elaboración propia.

- Pruebas de conductividad.

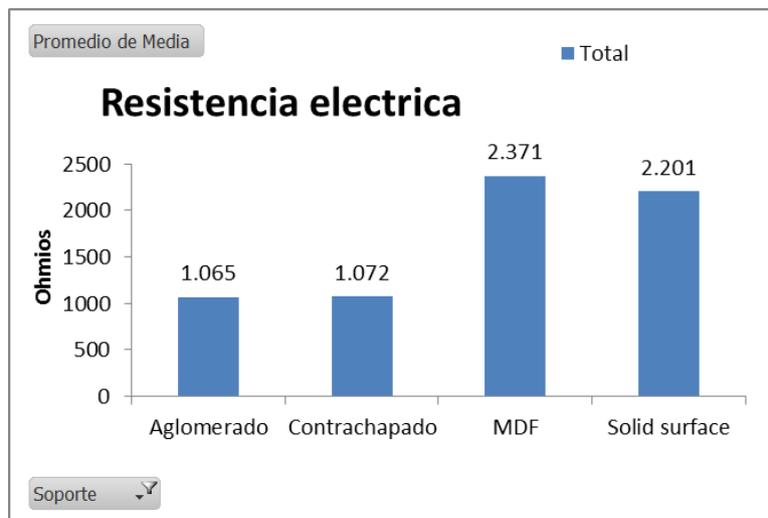
Se procede a medir la resistencia eléctrica al paso de la corriente que presentan las pistas sobre cada uno de los cuatro formatos analizados. Se utiliza para ello un polímetro.



**Figura 3. Proceso de aplicación de pintura conductora de la electricidad.**  
Fuente: elaboración propia.

- Resultados.

Los sustratos aglomerado y contrachapado son los que menor resistencia eléctrica ofrecen, del orden de un 50% menos que el MDF y solid surface.



**Figura 4. Promedio de resistencia eléctrica por sustrato**  
Fuente: elaboración propia.

Existen desviaciones bastante notables entre la resistencia eléctrica proporcionada por el fabricante para sustrato papel y cartón, y los sustratos trabajados en la presente experimentación.

Las desviaciones se dan en todos los sustratos, aunque con diferencias:

- En Aglomerado y MDF, las resistencia promedio medidas son del orden de 3'5 veces superior a la ofrecida por el fabricante.

- En MDF y solid Surface, las resistencia promedio medidas son del orden de 7'2 veces superior a la ofrecida por el fabricante. Muy superiores a la de los otros dos sustratos.

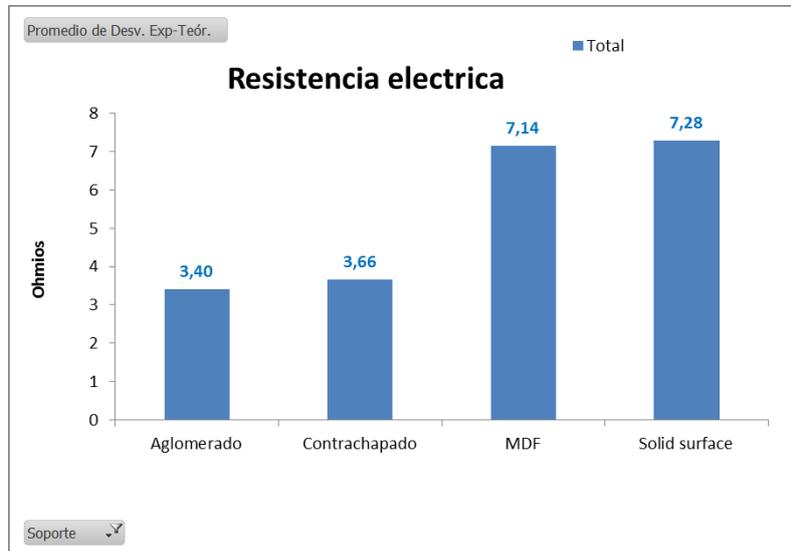


Figura 5. Promedio de diferencia de resistencia eléctrica por sustrato  
Fuente: elaboración propia.

Si se analiza el comportamiento de la conductividad (como promedio de todos los sustratos) en función de la superficie de pintado, no se aprecia una relación directa y proporcional a la superficie.

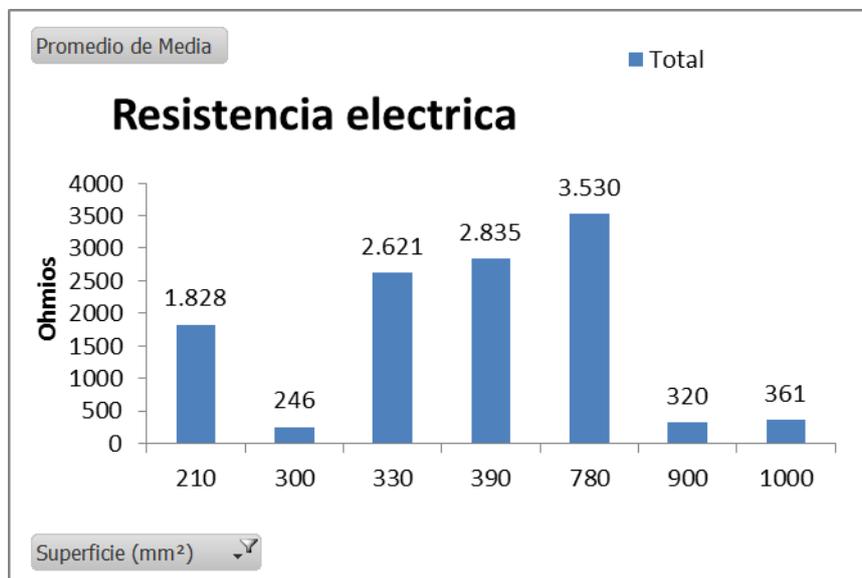


Figura 6. Promedio de resistencia eléctrica por superficie pintada.  
Fuente: elaboración propia.

En cambio, sí que se aprecia una relación directa entre la resistencia eléctrica y la longitud de la pista, obteniendo mayor resistencia a mayor longitud de la pista.

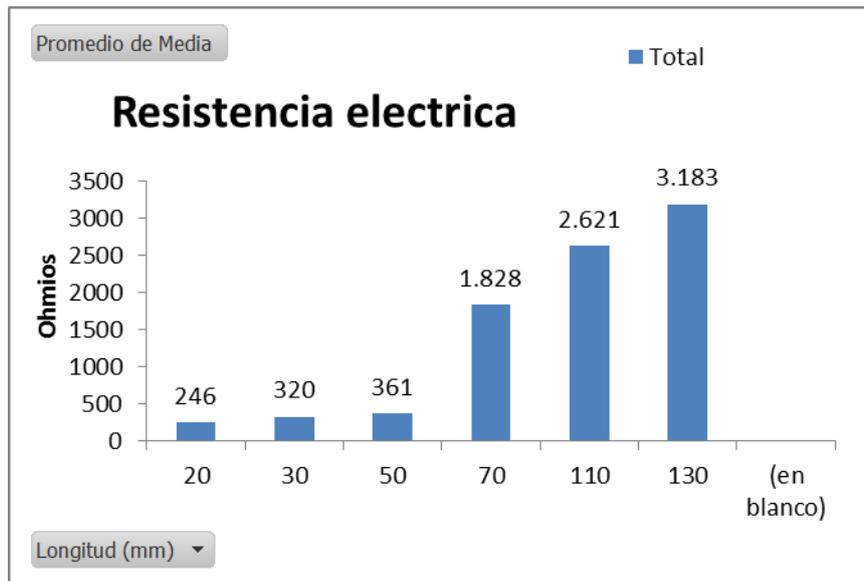


Figura 7. Promedio de resistencia eléctrica por longitud pintada.  
 Fuente: elaboración propia.

Tras analizar el efecto del gramaje aplicado, no aprecia ninguna relación con la resistencia. Otros factores como la longitud o el sustrato presentan mayor influencia.

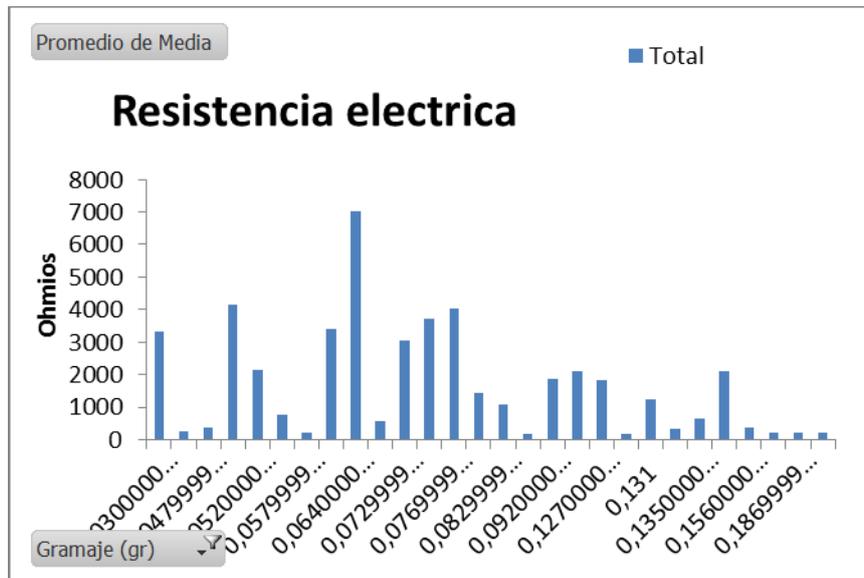


Figura 8. Promedio de resistencia eléctrica por gramaje aplicado.  
 Fuente: elaboración propia.

Se ha realizado el mismo tipo de análisis considerando el gramaje aplicado por unidad de superficie pintada. En éste caso parece existir una cierta tendencia en los resultados de modo que a mayor gramaje por unidad de superficie, se obtiene menor resistencia.

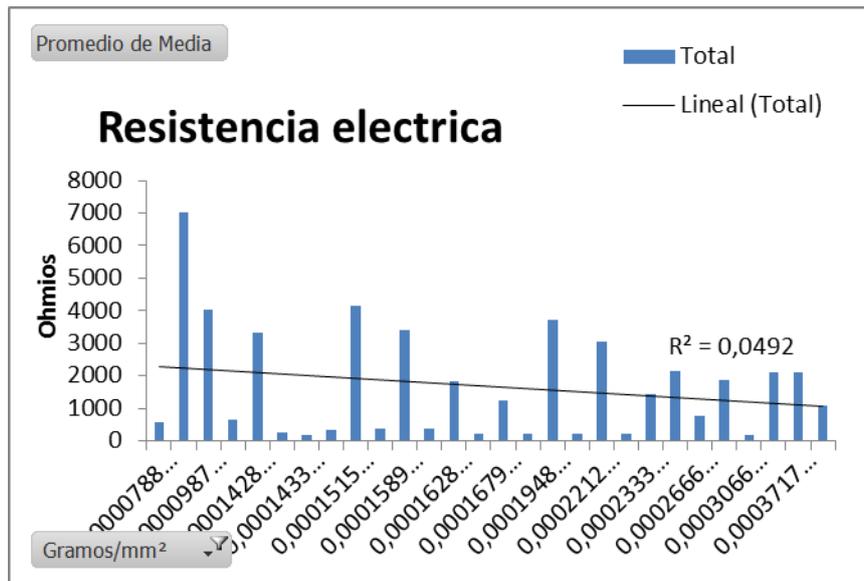


Figura 9. Promedio de resistencia eléctrica por gramaje/superficie aplicado.  
Fuente: elaboración propia.

Sin embargo, el efecto del sustrato aplica tal distorsión a los datos que estadísticamente hablando la relación entre ambas variables no presenta una fuerza significativa. Si se analizan solo los datos de las pistas más largas dibujadas (130 mm) la relación de causalidad entre la cantidad de pintura aplicada y la resistencia eléctrica comienza a cobrar relevancia.

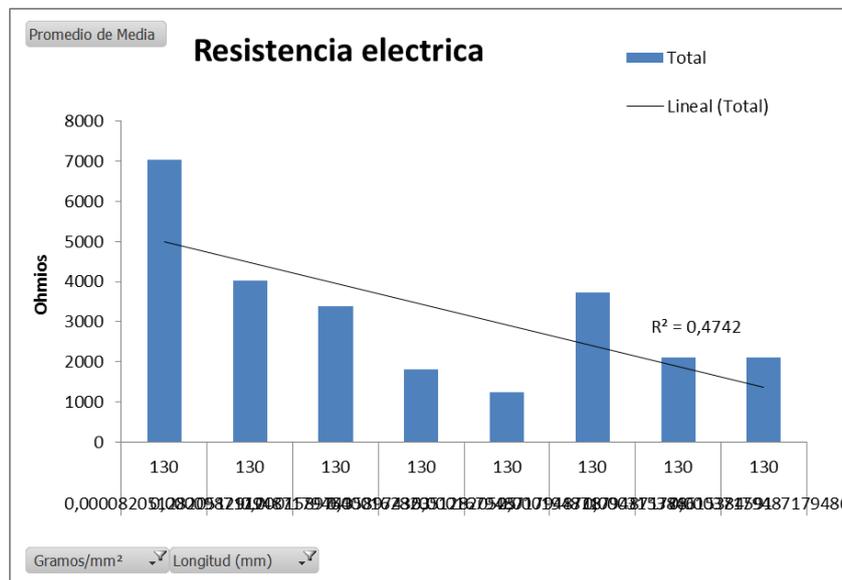


Figura 10. Promedio de resistencia eléctrica por gramaje/superficie aplicado, para pistas de 130 mm.  
Fuente: elaboración propia.

Si se analiza la desviación promedio entre la resistencia teórica para sustratos de papel y cartón con la real obtenida, en función de la longitud de la pista pintada, no se aprecia una gran variación. Ésta diferencia parece deberse en gran medida al efecto del sustrato sobre el que aplica la pintura.

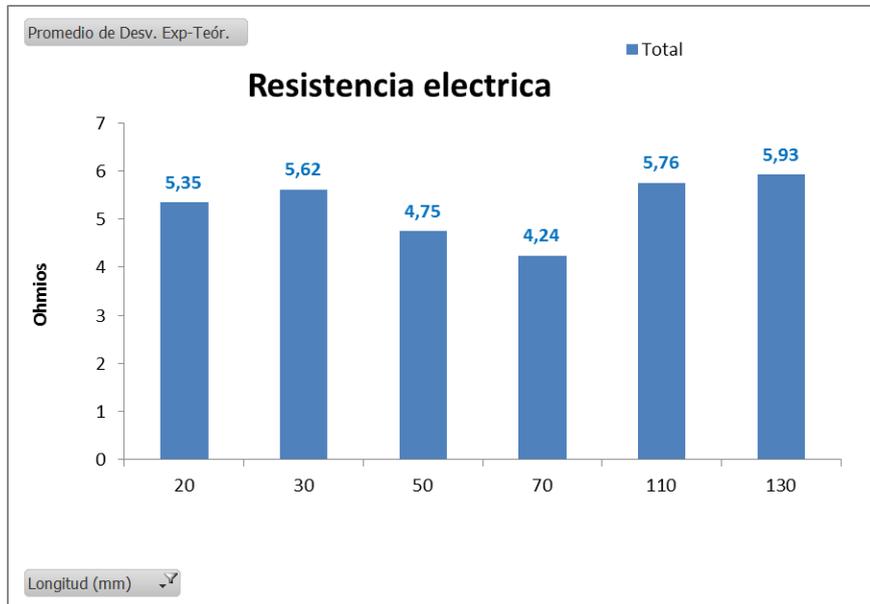
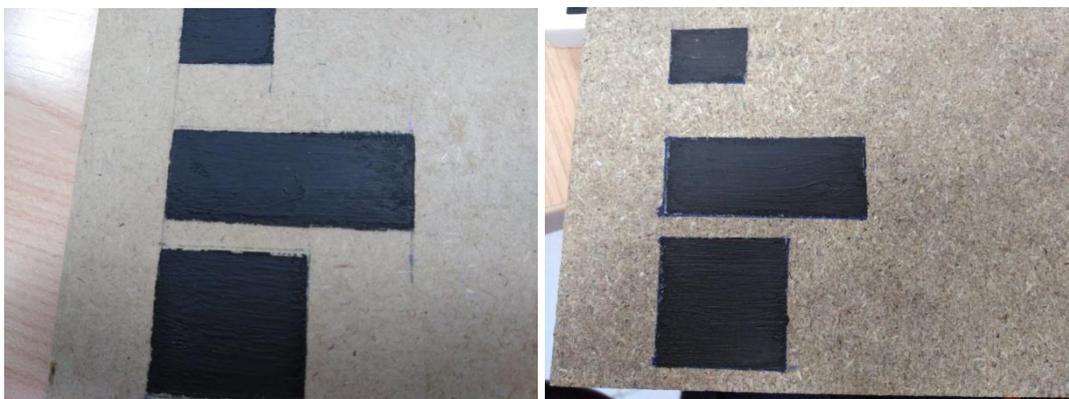


Figura 11. Promedio de diferencia de resistencia eléctrica por longitud.

Fuente: elaboración propia.

Incremento del gramaje aplicado de “Pintura 1” sobre 4 sustratos.

Dado que con las pruebas iniciales quedaron registradas evidencias acerca de la posible influencia del gramaje sobre la conductividad se planificó una segunda prueba donde se repitieron las probetas aplicando el doble de pintura en todas y cada una de las pistas. En las siguientes imágenes se aprecia que la capa de pintura aplicada presenta mayor grosor.



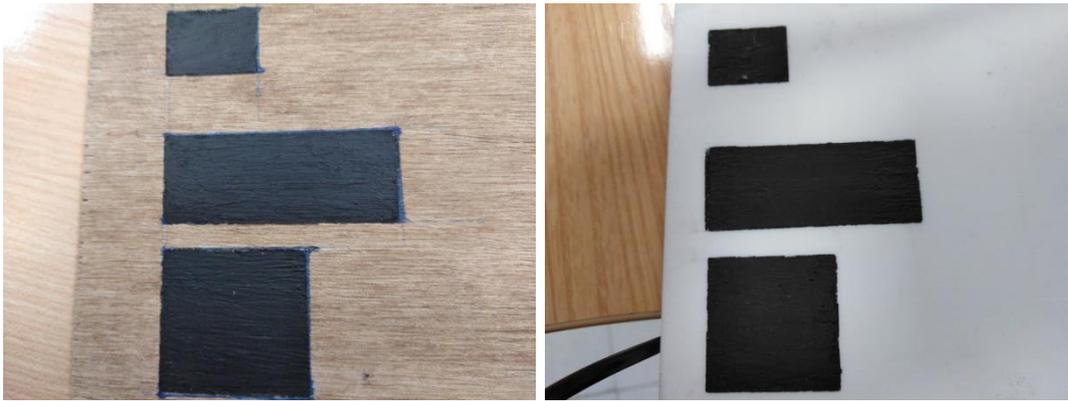


Figura 12. Aplicación de capa de pintura con doble de gramaje.  
 Fuente: elaboración propia.

- Resultados.

Si comparamos los resultados de resistencia eléctrica promedio de las probetas con 1 capa de pintura, y las probetas con 2 capas (doble gramaje) se aprecia un aumento significativo de la conductividad (baja la resistencia) con el gramaje. La resistencia promedio (sustratos, longitudes de pista, etc.) de las primeras pruebas es de 1.677  $\Omega$ , mientras que al duplicar el gramaje baja a 547 $\Omega$  de promedio.

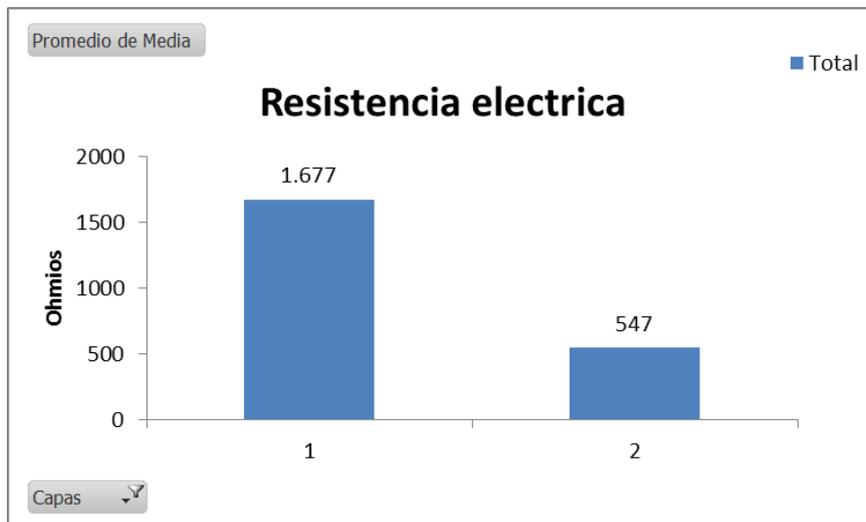


Figura 13. Comparativa entre pruebas con una y dos capas de pintura.  
 Fuente: elaboración propia.

Si se realiza dicha comparativa desglosando los resultados por tipo de sustrato, se obtienen una mejora de la conductividad en todos los tipos de sustrato.

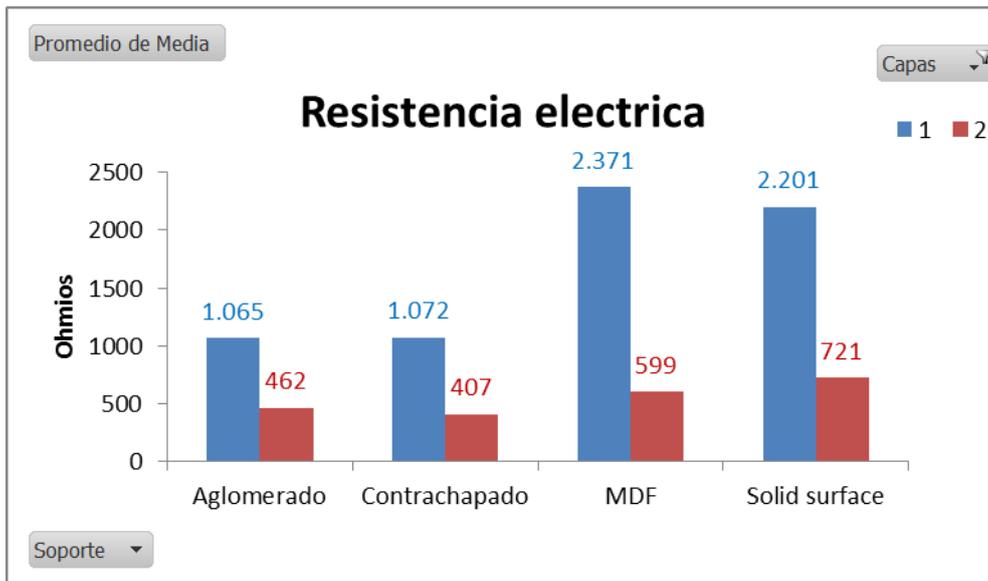


Figura 14. Comparativa entre pruebas con una y dos capas de pintura, según sustrato.  
Fuente: elaboración propia.

A pesar de ello, el aglomerado y el contrachapado son los sustratos con mejor conductividad, aunque ahora las diferencias no son tan acusadas como con los datos de las primeras pruebas.

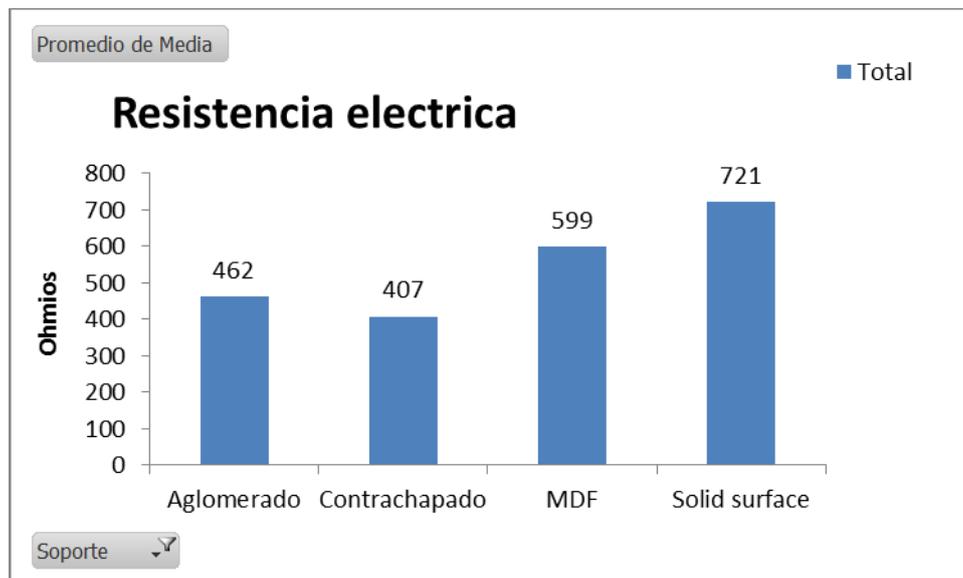


Figura 15. Resistencia eléctrica según sustrato.  
Fuente: elaboración propia.

De igual manera ocurre con la relación entre resistencia eléctrica y longitud de la pista: se mantiene la tendencia, pero con valores de resistencia más bajos que cuando la cantidad de pintura aplicada era menor.

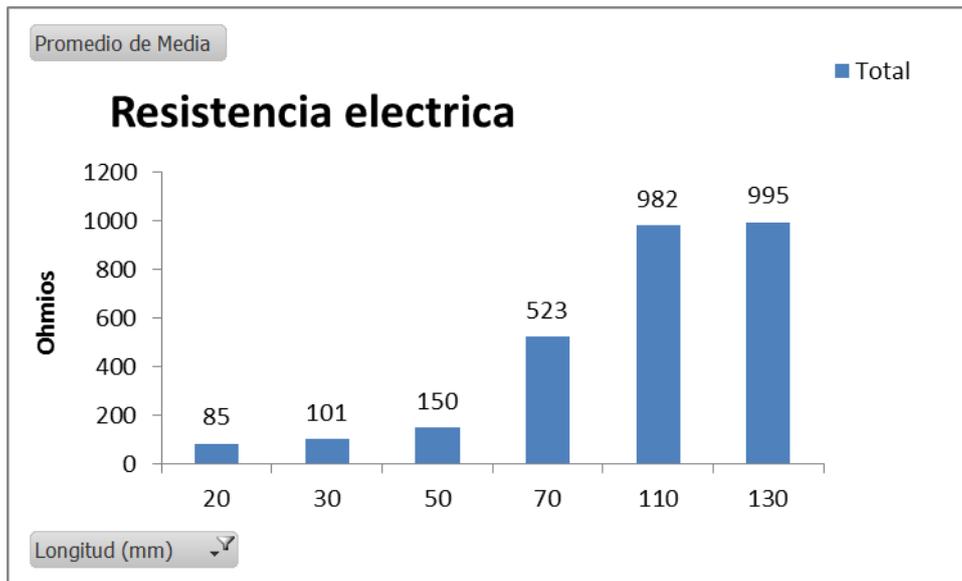


Figura 16. Resistencia eléctrica según longitud de la pista.  
Fuente: elaboración propia.

Cuando se analiza la resistencia eléctrica en función del gramaje aplicado por unidad de superficie, si se aprecia una relación donde mejora la conductividad (menor resistencia eléctrica) al aplicar mayor cantidad de pintura.

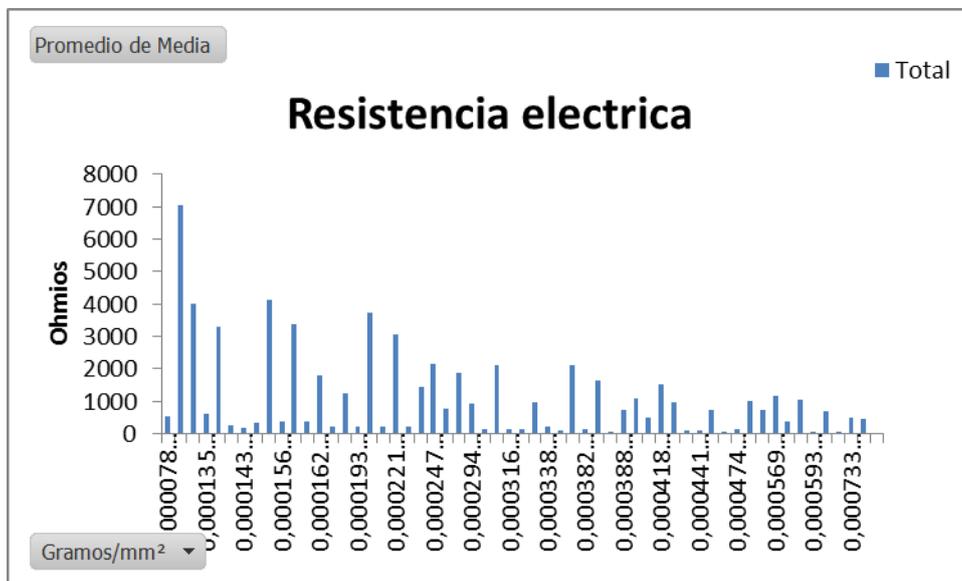


Figura 17. Resistencia eléctrica según gramaje por unidad de superficie.  
Fuente: elaboración propia.

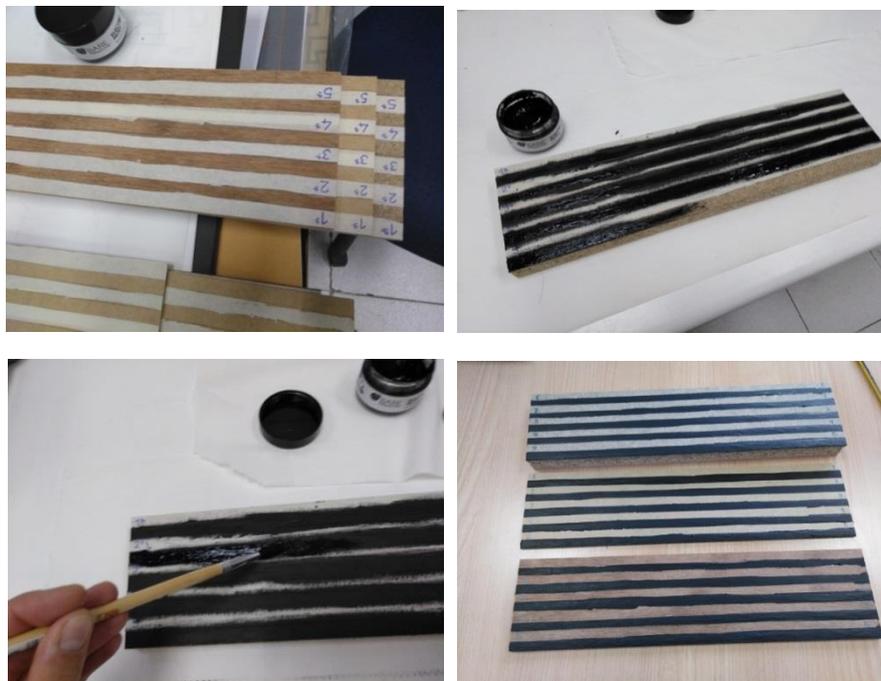
Sin embargo, se comprueba que aunque el gramaje por unidad de superficie se muestra como una variable influyente en el valor final de conductividad, la gráfica se ve influenciada por el efecto sustrato y longitud de la pista.

Pruebas de incremento del gramaje por unidad de superficie.

Tal y como se ha comprobado en el apartado anterior, el aumento de la cantidad de pintura (gramaje) por unidad de superficie mejora la conductividad de las pistas. Se plantea una nueva prueba (con el mismo tipo de pintura) incrementando progresivamente la cantidad de pintura, de modo que se obtenga una idea preliminar acerca del gramaje óptimo para lograr la máxima conductividad posible.

Las pruebas se realizaron sobre tres tipos de sustratos: tablero aglomerado, tablero mdf, y tablero contrachapado. Se descartó la realización de pruebas sobre solid Surface dada su bajo nivel de conductividad en las pruebas anterior, y el bajo comportamiento observado tras las pruebas de adherencia (que se documentan en el presente entregable en apartados posteriores).

A continuación se muestran unas imágenes de la preparación de las muestras sobre los tres tipos de sustratos, donde se han pintado pistas donde cada una de ellas presentaba un contenido en pintura superior a la anterior.



**Figura 18. Preparación de probetas con pistas con diferente gramaje aplicado.**  
 Fuente: elaboración propia.

Cada pista presenta un número de capas diferente. En cada capa se aplica una cantidad promedio en el rango  $[0'02 - 0'03] \text{ g/mm}^2$ . En la última pista, donde se aplicaba una 5ª capa el incremento de pintura ha sido de un promedio de  $0'01 \text{ g/mm}^2$ , ya que la superficie de la pista no absorbía mayor cantidad de pintura.

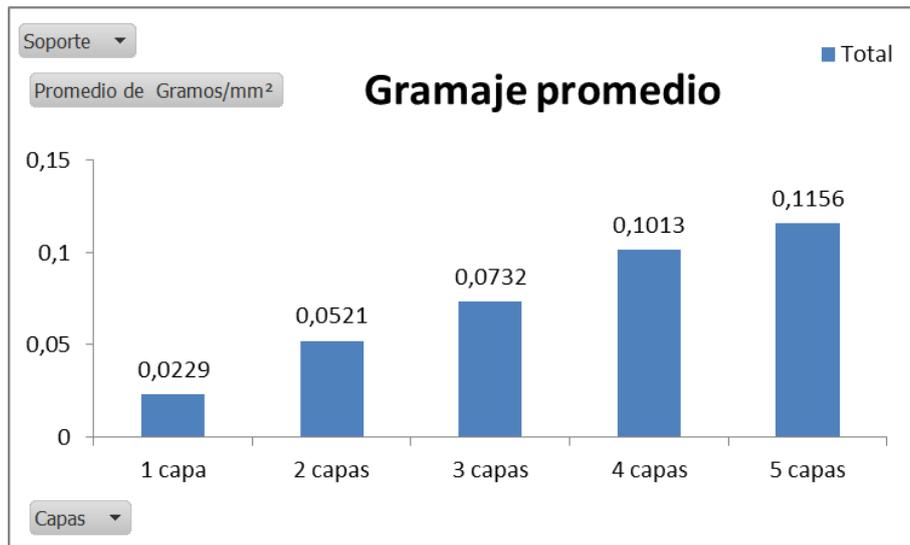


Figura 19. Gramaje promedio aplicado en cada pista.

Fuente: elaboración propia.

De manera general, la conductividad mejora (resistencia eléctrica menor) cuantas más capas de pintura presenta una pista. Se aprecia también que a partir de la tercera capa (gramaje de 0'07 g/mm<sup>2</sup>) la reducción de la resistencia eléctrica con el aumento del gramaje se amortigua, existiendo diferencias mínimas entre la cuarta y quinta capa.

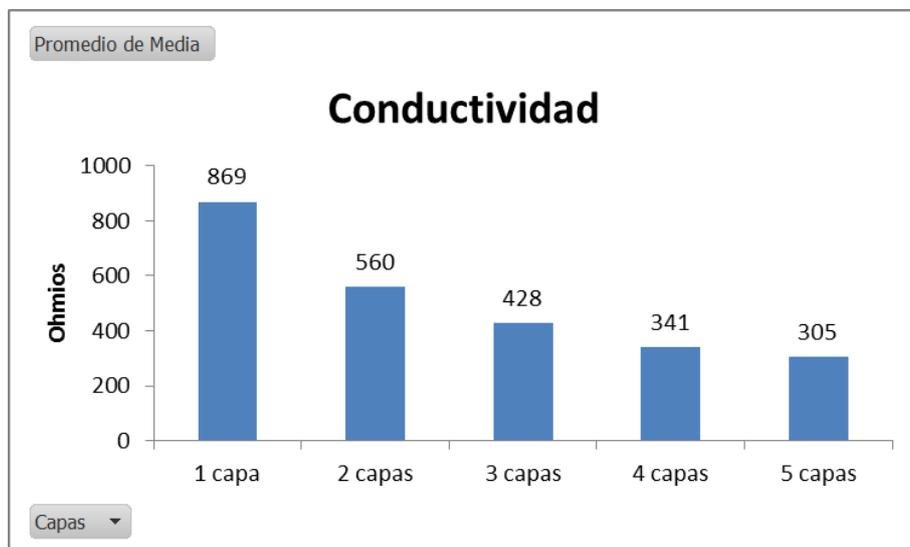


Figura 20. Resistencia eléctrica por capas.

Fuente: elaboración propia.

En esta ocasión no ha habido grandes diferencias de resistencia eléctrica promedio entre ninguno de los sustratos, lo que significa que aplicando una cantidad suficiente de pintura el efecto de ésta variable se minimiza.

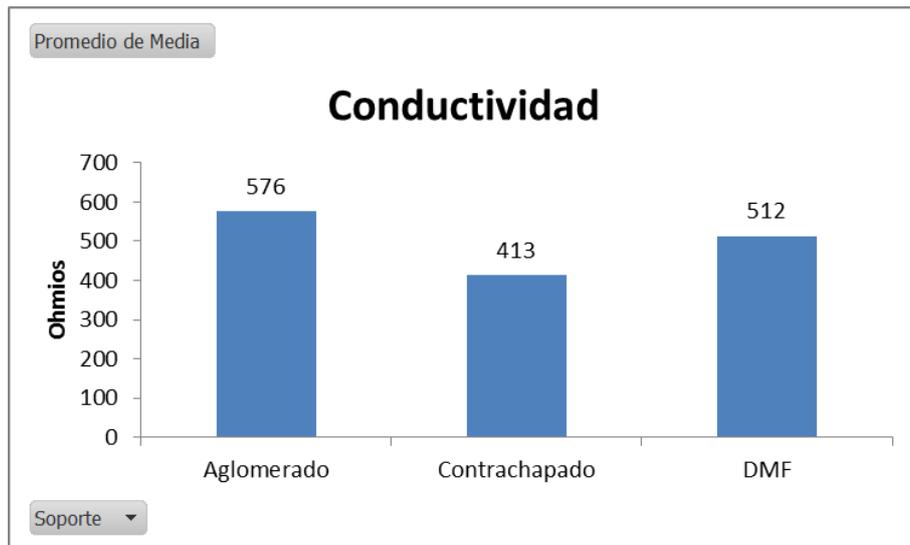


Figura 21. Resistencia eléctrica promedio por tipo de sustrato.

Fuente: elaboración propia.

De hecho, las mayores diferencias entre sustratos se producen en las pistas iniciales donde aplica menor cantidad de pintura.

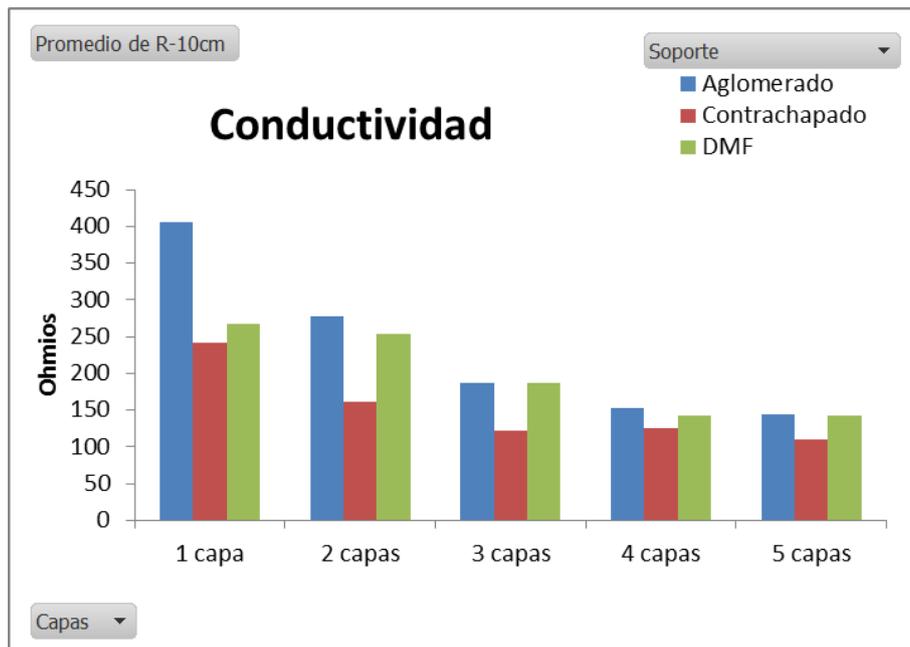


Figura 22. Resistencia eléctrica promedio por tipo de sustrato y capa.

Fuente: elaboración propia.

En estas pruebas ha sido justamente el sustrato aglomerado el que ha tenido un promedio de cantidad de pintura ligeramente inferior a los otros dos sustratos, y debido a esto ha obtenido valores de resistencia eléctrica superiores.

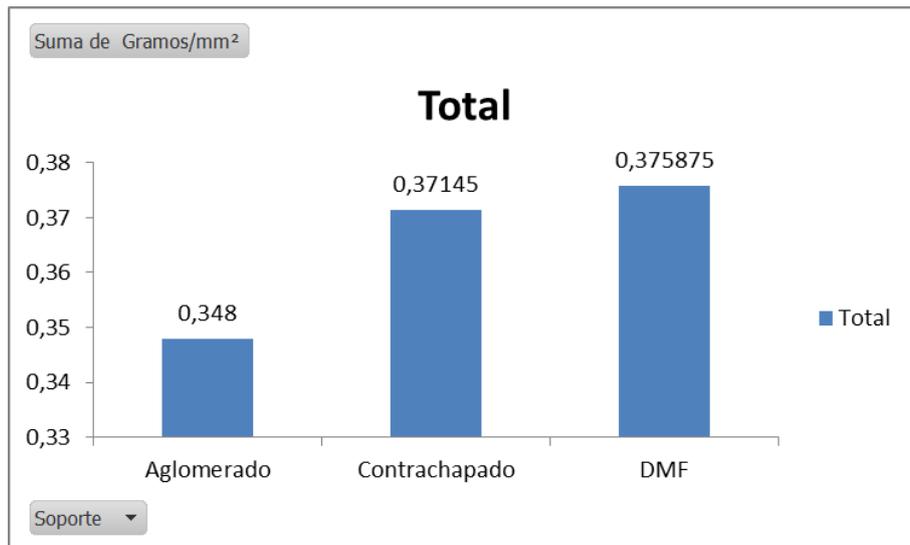


Figura 23. Gramaje promedio por tipo de sustrato.

Fuente: elaboración propia.

En la siguiente gráfica se puede apreciar como ligeras variaciones en el gramaje afectan de forma directa a la resistencia eléctrica, especialmente cuando se trata de valores inferiores a 0'08 g/mm<sup>2</sup>.

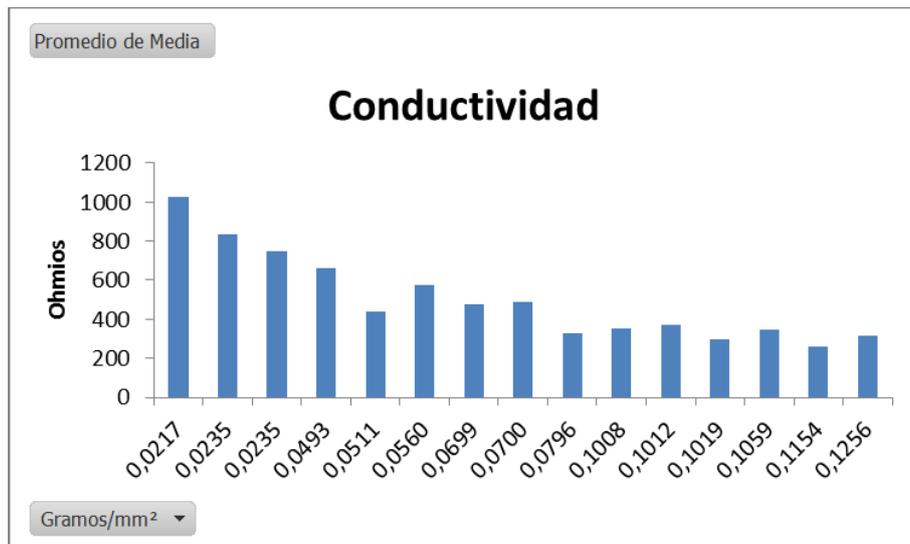


Figura 24. Resistencia eléctrica vs. Gramaje aplicado.

Fuente: elaboración propia.

Por último, se ha medido la conductividad para cada sustrato y cada pista pintada con diferentes longitudes (10cm, 20 cm 30 cm, y 40 cm), con el objetivo de verificar las relaciones entre longitud de la pista y resistencia eléctrica en diferentes condiciones.

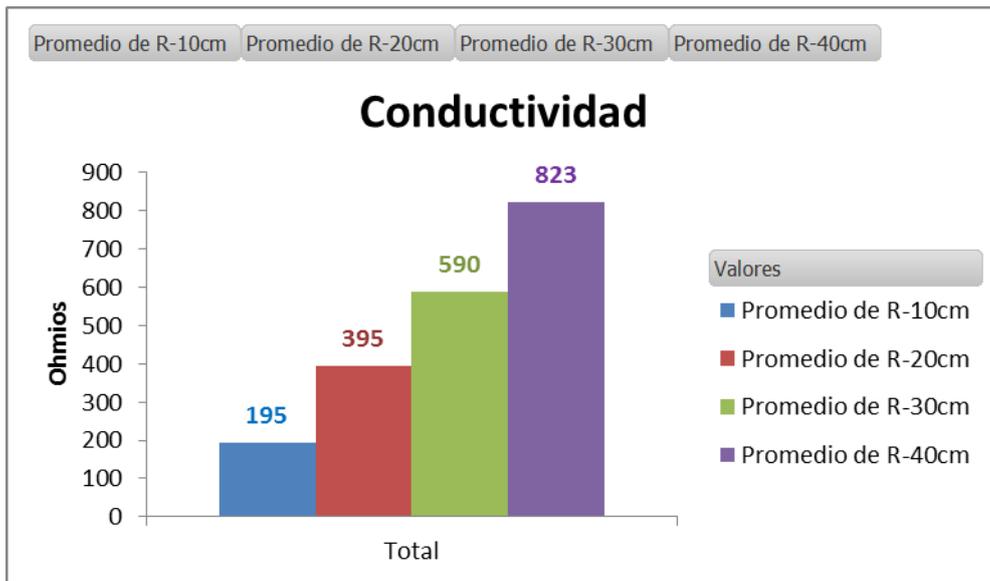


Figura 25. Resistencia eléctrica vs. Longitud de la pista.  
Fuente: elaboración propia.

Pruebas con nuevas pinturas conductoras sobre 4 sustratos.

Se han realizado pruebas similares a las realizadas con la pintura “Pintura 1” con tres pinturas conductoras de la electricidad nuevas, cuyo material base es grafeno: “Pintura 2”, “Pintura 3” y “Pintura 4”.

Se procedió a preparar nuevas probetas sobre los sustratos aglomerado, MDF y contrachapado, tal y como se muestra en las imágenes.



Figura 26. Probetas con nuevas pinturas.  
Fuente: elaboración propia.

Resultados.

Las pinturas “Pintura 2” y “Pintura 3” ofrecen resultados de resistencia eléctrica por debajo de los obtenidos con la pintura “Pintura 1” en todos los sustratos.

Sin embargo, la pintura “Pintura 4” ofrece valores muy superiores.

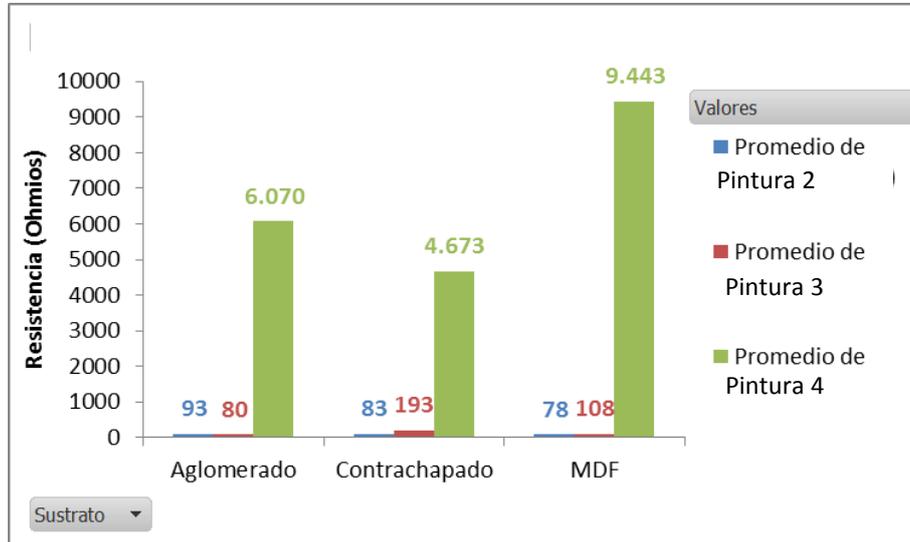


Figura 27. Resistencia eléctrica por sustrato y tipo de pintura.  
Fuente: elaboración propia.

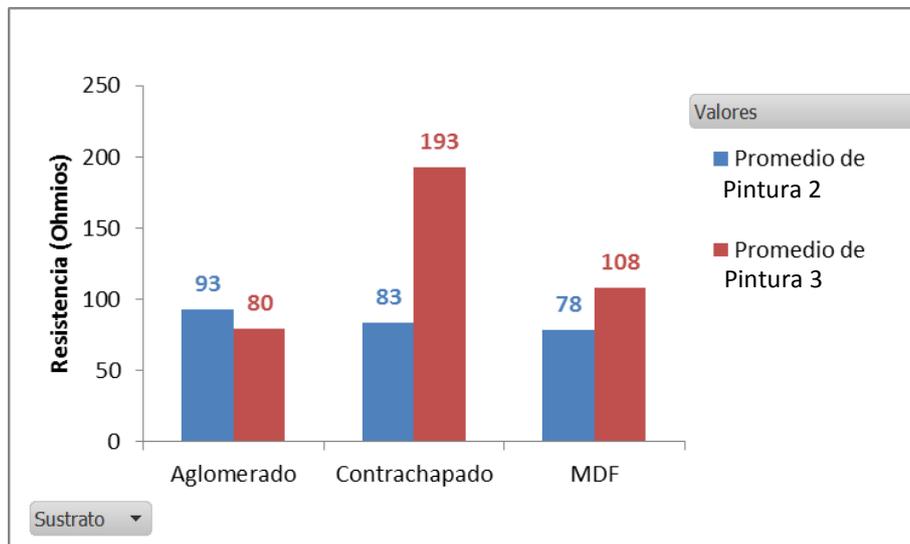


Figura 28. Resistencia eléctrica por sustrato, solo “Pintura 2” y “Pintura 3”  
Fuente: elaboración propia.

Si se analizan los resultados teniendo en cuenta la longitud de la pista a la que se mide la resistencia eléctrica, los resultados son similares. La pintura “Pintura 4” presenta una resistencia eléctrica muy superior al resto de pinturas conductoras.

Parece que la pintura “Pintura 2” ofrece el mejor comportamiento promedio a cualquier longitud de pista.

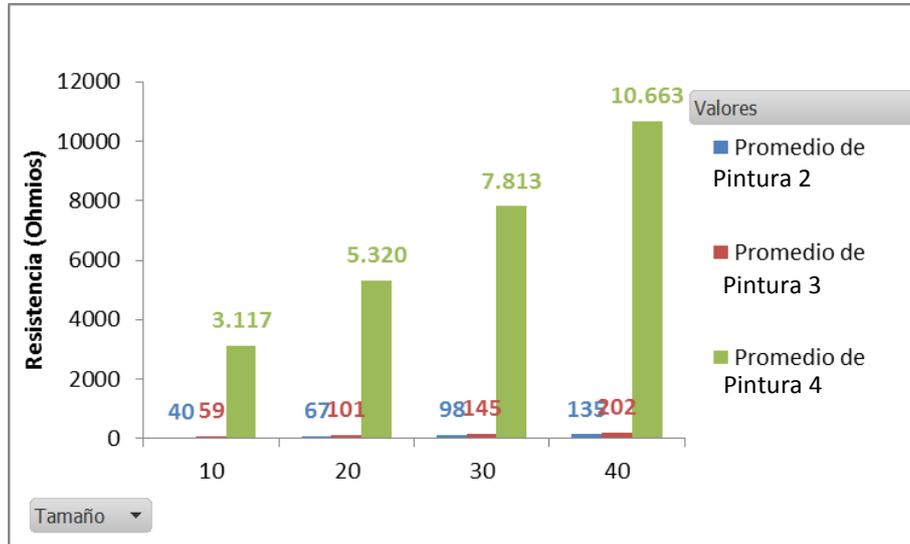


Figura 29. Resistencia eléctrica por longitud pista y tipo de pintura.  
Fuente: elaboración propia.

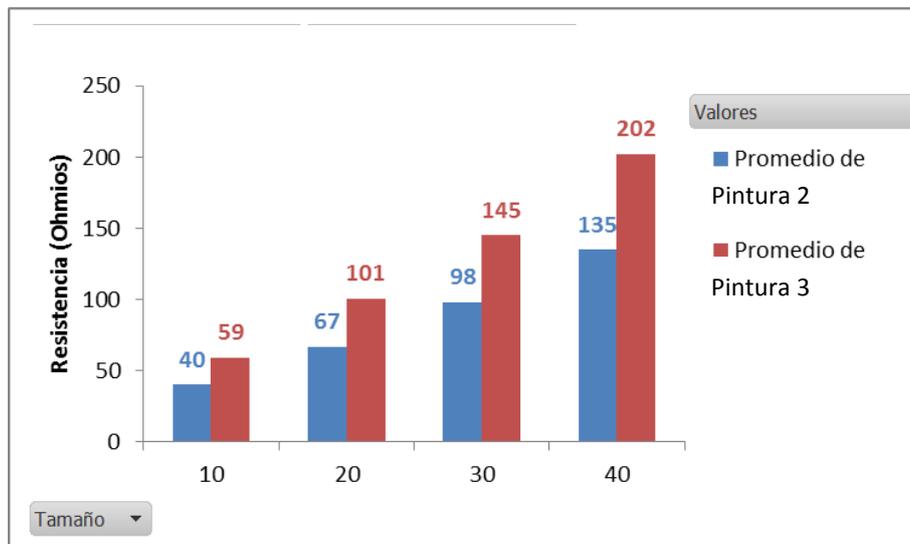


Figura 30. Resistencia eléctrica por longitud pista, solo “Pintura 2” y “Pintura 3”  
Fuente: elaboración propia.

### 3.1.2 CONCLUSIONES PRUEBAS RESISTENCIA ELÉCTRICA.

- Las pinturas modelo “Pintura 4” y “Pintura 1” presentan altos valores de resistencia eléctrica que hacen muy complicada su utilización en circuitos eléctricos convencionales.
- El gramaje aplicado influye forma notable en la resistencia eléctrica del circuito, aunque existe un límite a partir del cual deja de tener influencia.

- La longitud de la pista afecta de forma lineal a la resistencia eléctrica del circuito en cualquier tipo de sustrato y con cualquier tipo de pintura.

### 3.1.3 COMPORTAMIENTO EN ADHERENCIA.

Una vez se han realizado diferentes pruebas para caracterizar la conductividad eléctrica de la pintura conductora de la electricidad en función de diferentes variables como tipo de sustrato, gramaje aplicado, y longitud de la pista, se han planificado diferentes ensayos para comprobar la adherencia de la pintura al sustrato, y comprobar su compatibilidad para su uso en mobiliario.

#### Aplicación de pintura “Pintura 1”.

Las pruebas de adherencia iniciales se llevaron a cabo sobre los cuatro tipos de sustrato contemplados al inicio del proyecto (aglomerado, mdf, contrachapado y solid Surface) con la pintura conductora de la marca “Pintura 1”. A continuación se muestran unas imágenes del proceso de aplicación de la pintura sobre las probetas de tablero.



**Figura 31. Generación de probetas para pruebas de adherencia.**

Fuente: elaboración propia.

A las probetas fabricadas, se les ha realizado ensayo de adherencia por corte cruzado según norma ISO 2409 tras el proceso de secado y tras un proceso de envejecimiento mediante ciclos de calor / frío según la norma UNE – 48025.



**Figura 32. Probetas tras ensayos de adherencia.**  
Fuente: elaboración propia.

De forma general, los resultados de adherencia en los sustratos aglomerado, mdf y contrachapado han sido satisfactorios. Sin embargo con el sustrato solid surface la adherencia obtenida no ha sido adecuada para su utilización a nivel industrial.

Resultados sustrato aglomerado.

Los bordes de las incisiones son lisos. Tan solo se aprecian ligeros desprendimientos en las intersecciones. Valoración: Clase 1.



**Figura 33. Adherencia sobre tablero aglomerado.**  
Fuente: elaboración propia.

Resultados sustrato MDF.

Los bordes de las incisiones son perfectamente lisos: ningún cuadrado del enrejado se ha desprendido. Valoración: Clase 0.



**Figura 34. Adherencia sobre tablero MDF.**  
Fuente: elaboración propia.

WIREWOOD

E3 – Caracterización comportamiento de pinturas conductoras sobre madera y tablero

---

Resultados sustrato contrachapado.

Los bordes de las incisiones son perfectamente lisos: ningún cuadrado del enrejado se ha desprendido. Valoración: Clase 0.



**Figura 35. Adherencia sobre tablero contrachapado.**  
Fuente: elaboración propia.

Resultados sustrato solid surface.

El recubrimiento se ha desprendido en grandes bandas a lo largo de los bordes de las incisiones y/o se ha desprendido parcial o totalmente. El área de enrejado afectada es mayor del 35% pero no mayor del 65%. Valoración: Clase 4.



**Figura 36. Adherencia sobre tablero solid surface.**  
Fuente: elaboración propia.

Aplicación de pinturas “Pintura 2”, “Pintura 3” y “Pintura 4”.

Se han repetido las pruebas de adherencia sobre los dos sustratos con mejores resultados en la fase anterior (MDF, y contrachapado) aplicando los otros tres tipos de pintura conductora

adquirida: “Pintura 2”, “Pintura 3” y “Pintura 4”. A continuación se muestran unas imágenes del proceso de preparación de las probetas necesarias para los ensayos de adherencia.



**Figura 37. Probetas nuevas pinturas conductoras electricidad.**  
Fuente: elaboración propia.

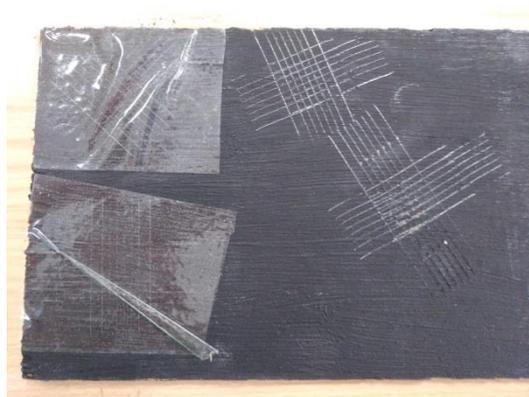
### Resultados.

La pintura “Pintura 3” ha mostrado un comportamiento en adherencia (clase 3) ligeramente peor que las pinturas “Pintura 2” y “Pintura 4” (clases 0 o 1).

Todas las pinturas han mostrado un comportamiento en adherencia mejor con las probetas de tablero MDF que con el contrachapado.

A continuación se muestran las imágenes de detalle del aspecto del corte cruzado realizado en las probetas sometidas a ensayo.

Resultados contrachapado.



**Figura 38. Probeta de contrachapado con “Pintura 2”.**  
Fuente: elaboración propia.

WIREWOOD

E3 – Caracterización comportamiento de pinturas conductoras sobre madera y tablero

---



Figura 39. Probeta de contrachapado con "Pintura 3".  
Fuente: elaboración propia.



Figura 40. Probeta de contrachapado con "Pintura 4".  
Fuente: elaboración propia.

Resultados MDF.



Figura 41. Probeta de MDF con "Pintura 2".  
Fuente: elaboración propia.



Figura 42. Probeta de MDF con “Pintura 3”.  
Fuente: elaboración propia.



Figura 43. Probeta de contrachapado con “Pintura 4”.  
Fuente: elaboración propia.

### 3.1.4 CONCLUSIONES ADHERENCIA.

- El sustrato solid surface presenta malos resultados de adherencia.
- La pintura “Pintura 3” presenta resultados de adherencia ligeramente peores que el resto de pinturas.

## 4 COMPATIBILIDAD CON PROCESOS DE ACABADO.

Tras las pruebas iniciales para identificar relaciones entre la resistencia eléctrica de las pinturas conductoras de la electricidad y variables como el tipo de sustrato, gramaje aplicado, y longitud de la pista, y las posteriores de adherencia, se han planificado pruebas para determinar la compatibilidad de la pintura conductora de la electricidad con los procesos de acabado típicos en la fabricación de mobiliario.

En concreto, los dos procesos de acabado considerados en estas pruebas son el lacado/barnizado y el chapado del tablero.

### 4.1.1 PROCESOS DE BARNIZADO Y LACADO.

Los procesos de barnizado y lacado comienzan con un proceso de aplicación de barniz conocido como “fondeado”, cuyo objetivo es tapar el poro del tablero y crear una superficie uniforme adecuada para que el producto (barniz, laca, ...) ancle perfectamente sobre el tablero o madera.

Se trata de éste producto el que entraría en contacto con la pintura conductora de la electricidad, y por tanto sobre el que se ha puesto el foco de la investigación en ésta etapa.

Tradicionalmente el tipo de productos aplicados en un proceso de fondeado se compone de un barniz en base poliuretano, aunque a lo largo de los últimos años se ha extendido el uso de barnices en base agua, que aunque ofrecen acabados con una calidad ligeramente inferior, generan un residuo con menor impacto ecológico.

Por tanto, se prueban los cuatro tipos de pinturas utilizadas en pruebas anteriores con dos tipos de sustrato (aglomerado y MDF), con fondos en base poliuretano y base agua.

A continuación se muestran dos imágenes de las probetas una vez pintadas con los dos tipos de fondos.

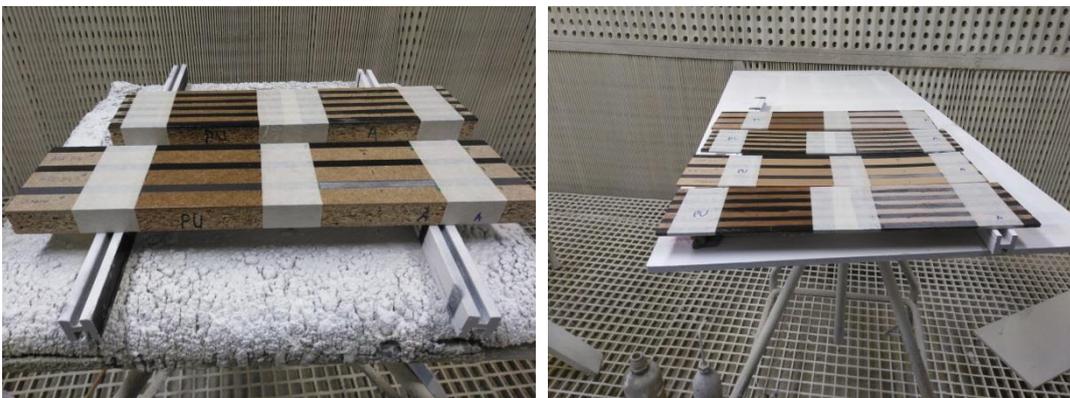


Figura 44. Probetas tras aplicar dos tipos de fondos.  
Fuente: elaboración propia.

Aspecto visual del acabado en las probetas pintadas con “Pintura 1”.

Sustrato Aglomerado.

En la siguiente imagen se muestra el resultado de aplicar fondo en base poliuretano (izquierda) y fondo en base agua (derecha) sobre la pintura conductora y sustrato aglomerado.



Figura 45. Probeta sobre aglomerado  
Fuente: elaboración propia.

El aspecto visual del acabado con barniz en base poliuretano es correcto. En cambio, con el barniz en base agua aparecen sobre la pintura conductora una especie de burbujas que hacen que la estética del producto empeore notablemente.



Figura 46. Probeta de barniz al agua sobre aglomerado.  
Fuente: elaboración propia.

Sustrato MDF.

En la siguiente imagen se muestra el resultado de aplicar fondo en base poliuretano (izquierda) y fondo en base agua (derecha) sobre la pintura conductora y sustrato MDF.



**Figura 47. Probeta sobre MDF**  
Fuente: elaboración propia.

El aspecto visual del acabado con barniz en base poliuretano es correcto. Al igual que ocurría con el aglomerado, con el barniz en base agua aparecen sobre la pintura conductora una especie de burbujas que hacen que la estética del producto empeore. No se trata de un efecto tan acusado como con el aglomerado, pero detectable a simple vista.



**Figura 48. Probeta de barniz al agua sobre MDF**  
Fuente: elaboración propia.

Sustrato Contrachapado.

En la siguiente imagen se muestra el resultado de aplicar fondo en base poliuretano (izquierda) y fondo en base agua (derecha) sobre la pintura conductora y sustrato contrachapado.



Figura 49. Probeta sobre contrachapado.  
Fuente: elaboración propia.

El aspecto visual del acabado con barniz en base poliuretano es correcto. Con el barniz en base agua se genera una película blanca y además aparecen sobre la pintura conductora una especie de burbujas que hacen que la estética del producto empeore.



Figura 50. Probeta de barniz al agua sobre contrachapado  
Fuente: elaboración propia.

Aspecto visual con el resto de pinturas.

Sustrato aglomerado.

En la siguiente imagen se puede observar el aspecto visual del acabado con un fondo en base poliuretano (izquierda) y un fondo en base agua (derecha).



Figura 51. Probeta sobre aglomerado.  
Fuente: elaboración propia.

El acabado con el fondo en base poliuretano es correcto. El acabado con fondo en base agua provoca pequeñas grietas en la pintura conductora de la electricidad modelo “Pintura 4”, tal y como se puede comprobar en las siguientes imágenes.



Figura 52. Probeta sobre aglomerado, con fondo base agua.  
Fuente: elaboración propia.

Sustrato MDF.

En la siguiente imagen se puede observar el aspecto visual del acabado con un fondo en base poliuretano (izquierda) y un fondo en base agua (derecha).



**Figura 53. Probeta sobre MDF.**  
Fuente: elaboración propia.

El acabado con el fondo en base poliuretano es correcto. Al igual que en el caso anterior (sustrato aglomerado), el acabado con fondo en base agua provoca pequeñas grietas en la pintura conductora de la electricidad modelo “Pintura 4”, tal y como se puede comprobar en las siguientes imágenes.



**Figura 54. Probeta sobre MDF, con fondo base agua.**  
Fuente: elaboración propia.

Sustrato Contrachapado.

En la siguiente imagen se puede observar el aspecto visual del acabado con un fondo en base poliuretano (izquierda) y un fondo en base agua (derecha).



**Figura 55. Probeta sobre contrachapado.**  
Fuente: elaboración propia.

El acabado con el fondo en base poliuretano es correcto. De nuevo, el acabado con fondo en base agua provoca pequeñas grietas en la pintura conductora de la electricidad modelo “Pintura 4”, tal y como se puede comprobar en las siguientes imágenes.



Figura 56. Probeta sobre contrachapado, con fondo base agua.  
 Fuente: elaboración propia.

Resultados de conductividad tras proceso de barnizado.

Tras el proceso de aplicación de diferentes tipos de barnices como capa de fondeado (en base poliuretano y en base agua) se han realizado mediciones para comprobar la nueva resistencia eléctrica de las pistas, así como realizado pequeños circuitos de prueba para comprobar su funcionamiento.

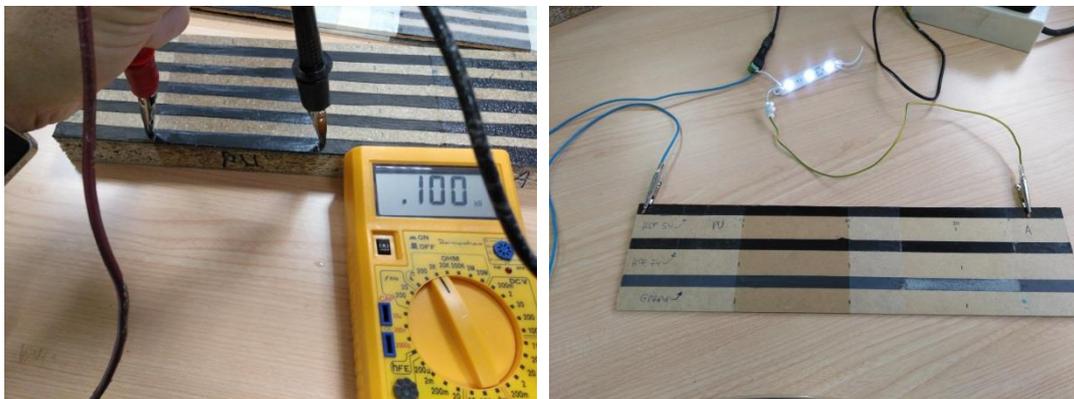


Figura 57. Mediciones y circuitos de prueba.  
 Fuente: elaboración propia.

“Pintura 1”.

Al analizar el comportamiento de la pintura conductora bajo los dos tipos de barnices de acabado se encuentran notables diferencias en cuanto a la conductividad. La resistencia eléctrica ofrecida por la pintura bajo el acabado de un barniz al agua es superior a la que ofrece bajo el barniz en base poliuretano.

Con el sustrato aglomerado la diferencia no es muy acusada, pero con los sustratos contrachapado y MDF la resistencia eléctrica promedio es más del doble.

Los resultados obtenidos con el barniz en base poliuretano se asemejan a los valores obtenidos con muestras a las que no se les aplicó fondo, cuyos datos se mostraron en el apartado 4.1.1.

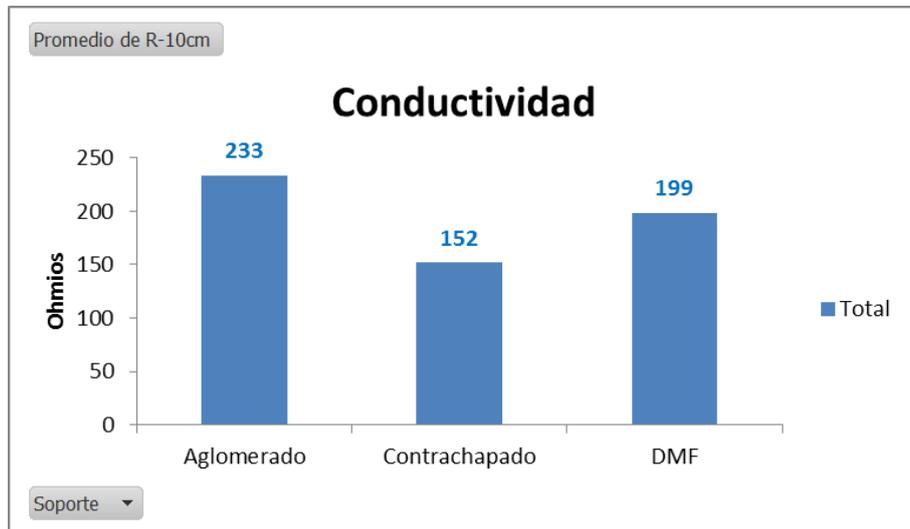


Figura 58. Resistencia eléctrica por sustrato sin aplicar fondo.  
Fuente: elaboración propia.

Si se analiza el efecto del gramaje aplicado se constata que con cada nueva capa de pintura conductora (aumento del gramaje) el efecto del tipo de fondo aplicado desaparece. Es decir, aplicar una cantidad muy importante de pintura conductora elimina el efecto perjudicial para la conductividad que el barniz en base agua pudiera generar.

Resto de pinturas.

Con la pintura conductora “Pintura 2” no se aprecian grandes diferencias de conductividad tras aplicarle un fondo en base poliuretano y en base agua. Los valores de resistencia eléctrica en ambos casos son muy similares.

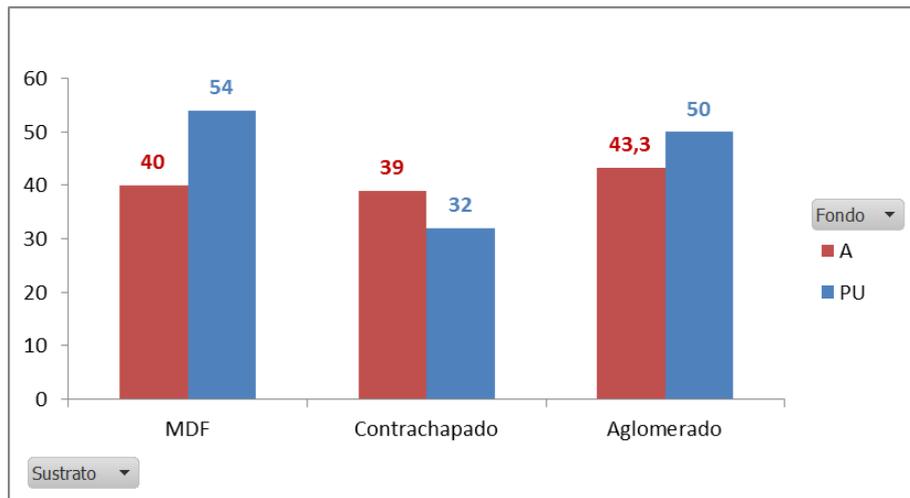


Figura 59. Resistencia eléctrica en función de sustrato y tipo de fondo para “Pintura 2”.  
Fuente: elaboración propia.

Con la pintura conductora “Pintura 3” se aprecian ligeras diferencias de conductividad tras aplicarle un fondo en base poliuretano e en base agua. Los valores de resistencia eléctrica tras aplicar el fondo en base agua son algo superiores, especialmente con el sustrato contrachapado.

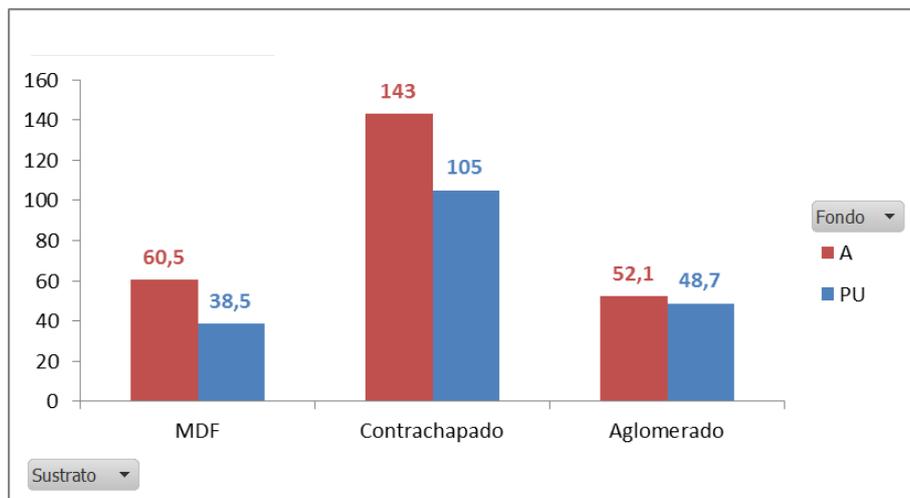


Figura 60. Resistencia eléctrica en función de sustrato y tipo de fondo para “Pintura 3”.  
Fuente: elaboración propia.

Con la pintura conductora “Pintura 4” se aprecian grandes diferencias de conductividad tras aplicarle un fondo en base poliuretano e en base agua. Los valores de resistencia eléctrica tras aplicar el fondo en base agua son muy superiores. En cualquier caso, los valores de conductividad son tan extremadamente altos en ambos caso que no podría utilizarse en ningún tipo de circuito eléctrico.

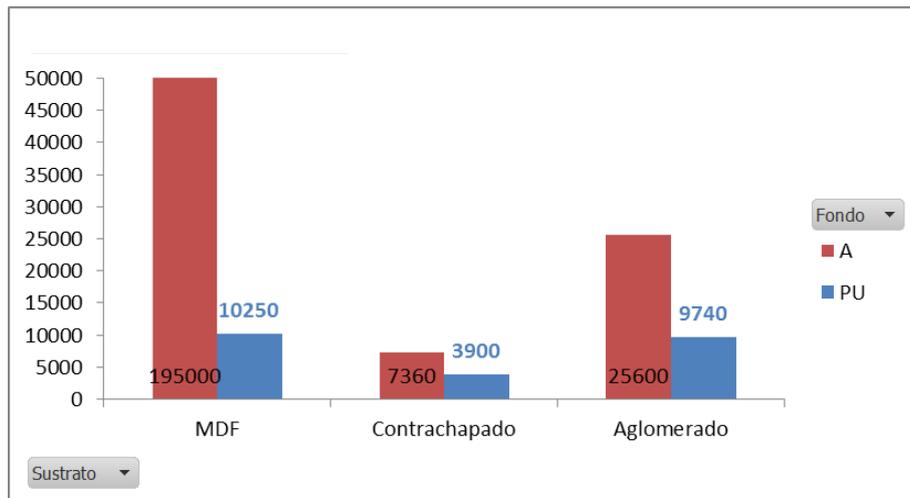


Figura 61. Resistencia eléctrica en función de sustrato y tipo de fondo para “Pintura 4”.

Fuente: elaboración propia.

#### 4.1.2 PROCESOS DE CHAPADO.

El proceso tipo de revestimiento de tablero (chapado) se suele llevar a cabo en una prensa de platos calientes, donde previamente se ha aplicado al tablero una cola (urea-formol habitualmente). Se superpone la chapa y se lleva a la prensa, donde se somete a una temperatura de 60-98°C y presión de 5kg/cm<sup>2</sup> durante aproximadamente 1 minuto [1].

Se ha reproducido el proceso en una prensa de platos calientes siguiendo el siguiente proceso.

Preparación de muestras.

Se han preparado muestras de los sustratos aglomerado, MDF y contrachapado pintadas con diferentes tipos de pinturas conductoras. Se ha descartado el uso de la pintura “Pintura 1” por su alta resistencia eléctrica en pruebas anteriores.



Figura 62. Preparación de probetas para el proceso de chapado.

Fuente: elaboración propia.

Proceso de chapado.

WIREWOOD

E3 – Caracterización comportamiento de pinturas conductoras sobre madera y tablero

Se ha utilizado una prensa de platos calientes disponible en plata pilo de AIDIMME capaz de alcanzar las condiciones de presión y temperaturas requeridas para el proceso de chapado.



Figura 63. Imágenes de prensa de platos calientes utilizada.  
Fuente: elaboración propia.



Figura 64. Pensado de muestras.  
Fuente: elaboración propia.

Inspección de muestras.

Tras extraer las probetas de la prensa se ha realizado una primera comprobación visual de las muestras.



Figura 65. Aspecto de las probetas tras proceso de chapado en caliente.  
Fuente: elaboración propia.

Resultados.

Con el sustrato aglomerado parece haber existido algún tipo de problema durante el proceso de chapado ya que la resistencia eléctrica tras el chapado se ha incrementado notablemente para todos los tipos de pintura.

Con el resto de sustratos la pintura conductora “Pintura 2” parece no sufrir incremento en la resistencia eléctrica, mientras que las otras dos pinturas (“Pintura 3” y “Pintura 4”) si sufren incrementos notables de resistencia eléctrica, tal y como se puede comprobar en la siguiente tabla.

Sustrato	Pintura cond.	Gramaje (g)	Gr./superf (g/m <sup>2</sup> )	Resistencia inicial(Ω)	Resistencia final (Ω)
Aglomerado	Pintura 2	1,153	288,25	218	160000
Aglomerado	Pintura 3	0,881	220,25	168	∞
Aglomerado	Pintura 4	1,49	372,5	9800	200000
MDF	Pintura 2	1,008	252	150	151
MDF	Pintura 3	1,209	302,25	80	96
MDF	Pintura 4	1,239	309,75	9480	19600
Contrachapado	Pintura 2	1,111	277,75	117	116
Contrachapado	Pintura 3	1,275	318,75	336	∞
Contrachapado	Pintura 4	1,128	282	12350	12500

#### 4.1.3 CONCLUSIONES PROCESOS DE ACABADO.

- Para los procesos de acabado donde hay que aplicar un fondo, es preferible trabajar con fondos en base poliuretano, ya que su influencia en la resistencia eléctrica es mínima en la mayoría de casos.
- La pintura modelo “Pintura 4” se muestra muy sensible a la aplicación de productos para operaciones de fondeado.
- En cuanto a las operaciones de chapado, la pintura modelo “Pintura 2” es la que mejor comportamiento ha mostrado, variando mínimamente su resistencia eléctrica.

## RESUMEN. CONCLUSIONES.

Respecto de las pruebas de conductividad.

- Las pinturas modelo “Pintura 4” y “Pintura 1” presentan altos valores de resistencia eléctrica que hacen muy complicada su utilización en circuitos eléctricos convencionales.
- El gramaje aplicado influye forma notable en la resistencia eléctrica del circuito, aunque existe un límite a partir del cual deje de tener influencia.
- La longitud de la pista afecta de forma lineal a la resistencia eléctrica del circuito en cualquier tipo de sustrato y con cualquier tipo de pintura.

Respecto de las pruebas de adherencia.

- El sustrato solid surface presenta malos resultados de adherencia.
- La pintura “Pintura 3” presenta resultados de adherencia ligeramente peores que el resto de pinturas.

Respecto de las pruebas de compatibilidad con procesos de acabado en la fabricación de mobiliario.

- Para los procesos de acabado donde hay que aplicar un fondo, es preferible trabajar con fondos en base poliuretano, ya que su influencia en la resistencia eléctrica es mínima en la mayoría de casos.
- La pintura modelo “Pintura 4” se muestra muy sensible a la aplicación de productos para operaciones de fondeado.
- En cuanto a las operaciones de chapado, la pintura modelo “Pintura 2” es la que mejor comportamiento ha mostrado, variando mínimamente su resistencia eléctrica

## BIBLIOGRAFÍA.

[1] TECNOLOGIA, DE LA MADERA; PEÑA, Santiago Vignote; PERIS, Francisco Javier Jiménez. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. *Secretaria General Técnica, servicio de Publicaciones*.