

2018-
2019

WIREWOOD

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

Nº Expte: IMDEEA/2018/10

Programa: PROYECTOS DE I+D EN COOPERACIÓN CON EMPRESAS

Breve descripción.

En este documento se describen todas las actividades llevadas a cabo para realizar el diseño y fabricación del proceso industrial de aplicación de pintura conductora de la electricidad para generar producto de mobiliario, así como su aplicación al caso de un prototipo demostrador.

Realizado por:
AIDIMME



**GENERALITAT
VALENCIANA**

ivACE
INSTITUT VALENCIÀ DE
COMPETITIVITAT EMPRESARIAL



UNIÓN EUROPEA
Fondo Europeo de
Desarrollo Regional

Una manera de hacer Europa

Junio /2019



Contenido

1	DESCRIPCIÓN Y OBJETIVOS DEL ENTREGABLE.....	4
2	DEFINICIÓN DE HIPÓTESIS DEL PROCESO INDUSTRIAL.....	5
2.1	Problemas de conductividad.....	6
2.2	Problemas de acabado.....	10
2.3	Problemas de unión entre piezas.....	12
2.4	Problemas de unión entre módulos.....	14
2.5	Problemas de conexión pintura-electrónica.....	15
3	VALIDACIÓN DE HIPÓTESIS. PRUEBAS DE FABRICACIÓN.....	16
3.1	Hipótesis 1.....	16
3.2	Hipótesis 2.....	16
3.3	Hipótesis 3.....	19
3.4	Hipótesis 4.....	20
3.5	Hipótesis 5.....	21
3.6	Hipótesis 6.....	22
3.7	Hipótesis 7.....	22
3.8	Hipótesis 8.....	24
3.9	Hipótesis 9.....	24
3.10	Hipótesis 10.....	25
3.11	Hipótesis 11.....	26
3.12	Hipótesis 12.....	27
3.13	Hipótesis 13.....	27
3.14	Hipótesis 14.....	28
4	DESARROLLO CONCEPTUAL PROCESO INDUSTRIAL.....	29
4.1	INTRODUCCIÓN.....	29
5	DESARROLLO DE PROTOTIPO DEMOSTRADOR.....	35
5.1	DISEÑO CONCEPTUAL DEL PRODUCTO.....	35
5.2	MECANIZADO DE PIEZAS.....	37
5.3	PINTADO DEL CIRCUITO.....	38
5.4	ACABADO FINAL.....	39
5.5	ENSAMBLAJE FINAL y conexión de componnetes.....	42
	RESUMEN. CONCLUSIONES.....	43

WIREWOOD

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

LISTADO DE FIGURAS

FIGURA 1. ESQUEMA DE RETOS Y PROBLEMAS A RESOLVER.....	6
FIGURA 2. PARÁMETROS DE CONTROL DE LAS VARIABLES QUE AFECTAN A LA CONDUCTIVIDAD DEL CIRCUITO.....	7
FIGURA 3. HIPÓTESIS 1.....	8
FIGURA 4. HIPÓTESIS 2.....	8
FIGURA 5. HIPÓTESIS 3.....	9
FIGURA 6. HIPÓTESIS 4.....	9
FIGURA 7. ESQUEMA DE LOS PROBLEMAS DE ACABADO.....	10
FIGURA 8. HIPÓTESIS 5.....	10
FIGURA 9. HIPÓTESIS 6.....	11
FIGURA 10. HIPÓTESIS 7.....	11
FIGURA 11. HIPÓTESIS 8.....	12
FIGURA 12. HIPÓTESIS 9.....	12
FIGURA 13. HIPÓTESIS 10.....	13
FIGURA 14. HIPÓTESIS 11.....	13
FIGURA 15. HIPÓTESIS 12.....	14
FIGURA 16. HIPÓTESIS 13.....	14
FIGURA 17. HIPÓTESIS 14.....	15
FIGURA 18. MODELO DE CORRELACIÓN LIENAL EN MATLAB.....	17
FIGURA 19. REALACIÓN ENTRE LONGITUD CIRCUITO, ANCHO DE PISTA Y GRAMAJE.....	18
FIGURA 20. REALACIÓN ENTRE LONGITUD CIRCUITOY GRAMAJE PARA 1CM DE ANCHO DE PISTA.....	18
FIGURA 21. REALACIÓN ENTRE LONGITUD CIRCUITOY GRAMAJE PARA 2CM DE ANCHO DE PISTA.....	18
FIGURA 22. REALACIÓN ENTRE LONGITUD CIRCUITOY GRAMAJE PARA 3CM DE ANCHO DE PISTA.....	19
FIGURA 23. RESULTADOS MEDICIÓN – HIPÓTESIS 4.....	20
FIGURA 24. TABLA DE RESULTADOS – HIPÓTESIS 4.....	21
FIGURA 25. EJEMPLOS DE ACABADOS NO ADECUADOS.....	23
FIGURA 26. EJEMPLOS DE ACABADOS ADECUADOS.....	23
FIGURA 27. ILUMINACIÓN POR CONTACTO.....	25
FIGURA 28. TABLA DE RESULTADOS – HIPÓTESIS 11.....	26
FIGURA 29. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO GLOBAL (i).....	29
FIGURA 30. ESQUEMA DE LAS ETAPAS DEL PROCESO.....	30
FIGURA 31. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO GLOBAL (ii).....	31
FIGURA 32. FICHA DEL SUB-PROCESO DE DISEÑO DEL CIRCUITO.....	32
FIGURA 33. FICHA DEL SUB-PROCESO DE MECANIZADOS.....	32
FIGURA 34. FICHA DEL SUB-PROCESO DE APLICACIÓN DE PINTURA CONDUCTORA.....	33
FIGURA 35. FICHA DEL SUB-PROCESO DE APLICACIÓN DE ACABADOS.....	33
FIGURA 36. FICHA DEL SUB-PROCESO DE MONTAJE E INSTALACIÓN DE COMPONENTES.....	34
FIGURA 37. BOCETO PROTOTIPO (i).....	35
FIGURA 38. BOCETO PROTOTIPO (ii).....	36
FIGURA 39. BOCETO PROTOTIPO (iii).....	36
FIGURA 40. ESQUEMA DE LAS PLACAS DE CONEXIÓN.....	37
FIGURA 37. PIEZAS BARNIZADAS.....	40
FIGURA 38. DETALLE DE PUNTOS DE CONEXIÓN.....	41
FIGURA 39. ENSAMBLAJE DEL MUEBLE Y COMPONENTES.....	42

WIREWOOD

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

1 DESCRIPCIÓN Y OBJETIVOS DEL ENTREGABLE.

El presente entregable describe el trabajo ejecutado dentro del paquete de trabajo PT5, Diseño y desarrollo de proceso de fabricación industrial, así como el PT6, Validación proceso mediante fabricación de prototipos industriales.

En el apartado 2 se documentan todos los retos o problemas que potencialmente se derivan de la utilización de la pintura conductora de la electricidad para generar un mueble que utilice componentes electrónicos. Para cada problema o reto detectado se plantea una hipótesis de trabajo y un experimento o pruebas a realizar para validarla o rechazarla.

En el apartado 3 se resumen todas las pruebas realizadas, sus resultados y conclusiones respecto de cada una de las hipótesis planteadas en el apartado anterior.

A partir de dichos resultados en el apartado 4, se define el proceso industrial que permitiría obtener un mueble con un circuito pintado, que permita la integración de componentes electrónicos/eléctricos.

Por último, al apartado 5 recoge las principales actividades llevadas a cabo para diseñar y fabricar un mueble que sirve de prototipo demostrador de la aplicación del procedimiento desarrollado en el apartado anterior.



WIREWOOD

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

2 DEFINICIÓN DE HIPÓTESIS DEL PROCESO INDUSTRIAL.

En la Tabla siguiente se establece la agrupación de los problemas que se han ido detectando durante esta fase del proyecto:

Grupo	Descripción
Conductividad	Realización de distintas pruebas de conductividad, con el objetivo de analizar las mejores condiciones para aumentar la conductividad de la pintura aplicada.
Acabado	Realización de pruebas de acabado, con el objetivo de analizar cómo afecta a la conductividad el proceso de barnizado/lacado sobre las pistas pintadas con pintura conductora.
Unión entre piezas	Realización de pruebas de montaje entre piezas, con el objetivo de analizar cómo se transmite la conductividad entre distintas piezas de un mismo módulo.
Unión entre módulos	Pruebas de montaje entre módulos, con el objetivo de analizar cómo se transmite la conductividad entre distintos módulos de un mismo mueble.
Conexión pintura- electrónica	Realización de pruebas, con el objetivo de dar continuidad entre el dispositivo eléctrico y la pintura conductora.

En el siguiente esquema general se desglosa, de manera muy detallada, los distintos retos que se han ido afrontando por cada grupo:

WIREWOOD

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

ESQUEMA GENERAL

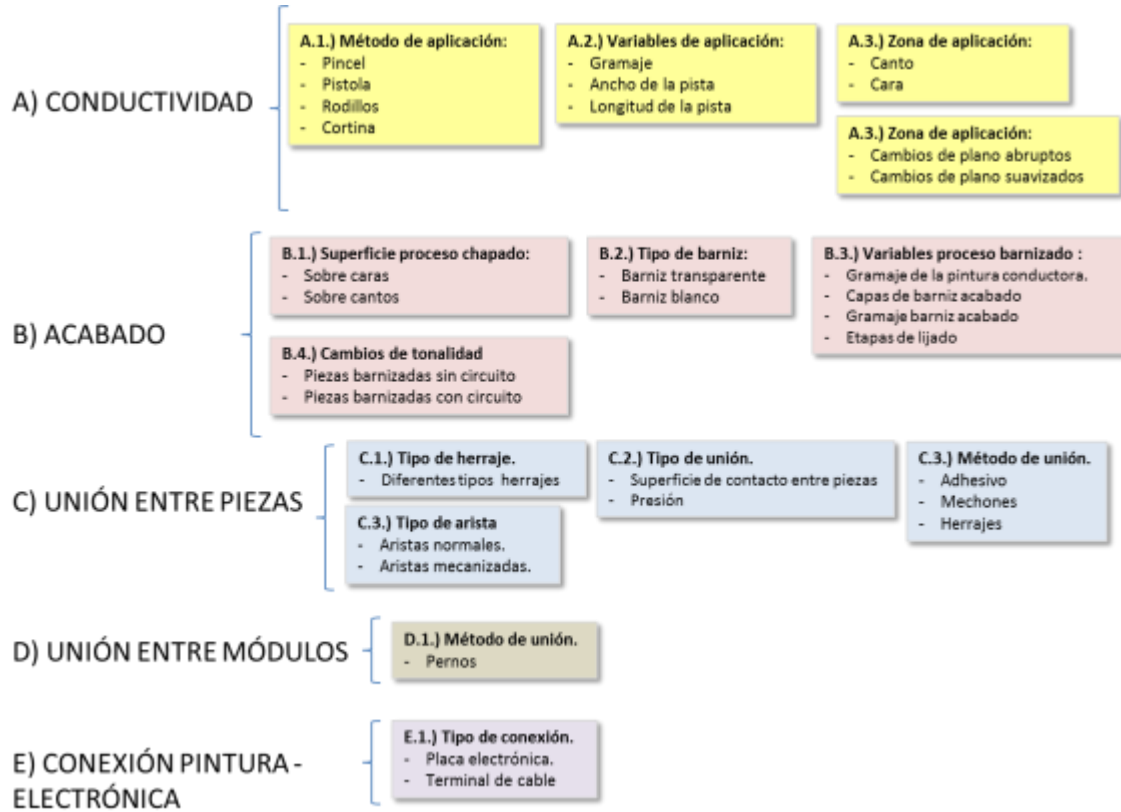


Figura 1. Esquema de retos y problemas a resolver.

Fuente: elaboración propia

2.1 PROBLEMAS DE CONDUCTIVIDAD.

Respecto de la mayor o menor conductividad se han trabajado con diferentes variables como son el tipo de pintura conductora de la electricidad, el tipo de material soporte (tipo de tablero), el método de aplicación, diferentes parámetros de la aplicación, así como la zona de pieza donde se aplica la pintura conductora de la electricidad.

En el siguiente esquema se hace un repaso de todas las variables que afectan a la conductividad del circuito, así como los valores que pueden adoptar las mismas.

WIREWOOD

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

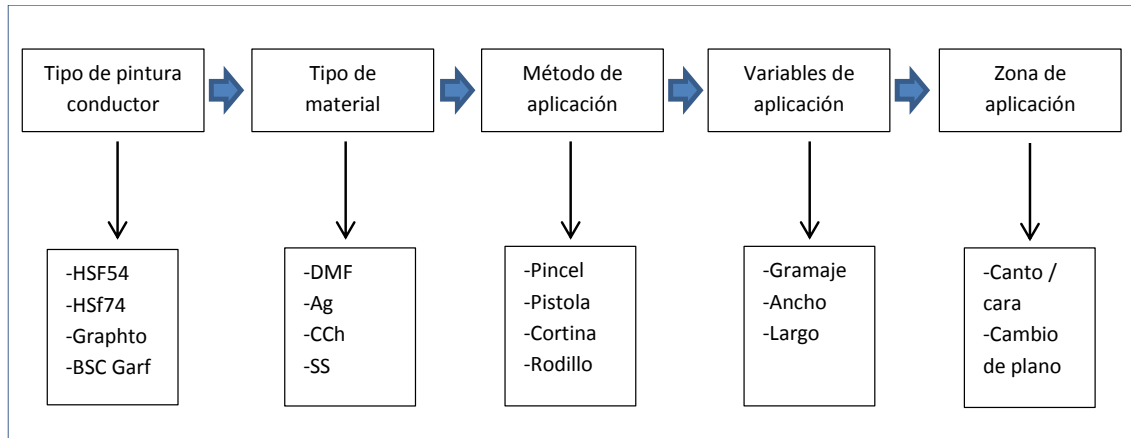


Figura 2. Parámetros de control de las variables que afectan a la conductividad del circuito.

Fuente: elaboración propia

En las primeras etapas del proyecto se investigó sobre la capacidad de la pintura con respecto a su conductiva. Inicialmente se determinó como elementos clave los dos siguientes:

- **El tipo de pintura:**
Durante el primer año del proyecto, con las pruebas realizadas, se determinó un tipo de pintura, que por sus características se fijó como la pintura a utilizar en todas las pruebas futuras.
- **La naturaleza del soporte:**
También durante el primer año, se seleccionaron entre los materiales más habituales en la fabricación de muebles los cuatro siguientes: Tablero aglomerado (Ag), Tablero de fibras de media densidad (DMF), Tablero contrachapado (CCh) y Tablero de SolidSurface (SS). Con las pruebas realizadas a los 4 soportes, se observó un mal comportamiento en el SS y un mejor comportamiento en los tableros derivados de la madera, teniendo entre ellos un comportamiento similar.

WIREWOOD

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

Problemática 1: El método de aplicación.

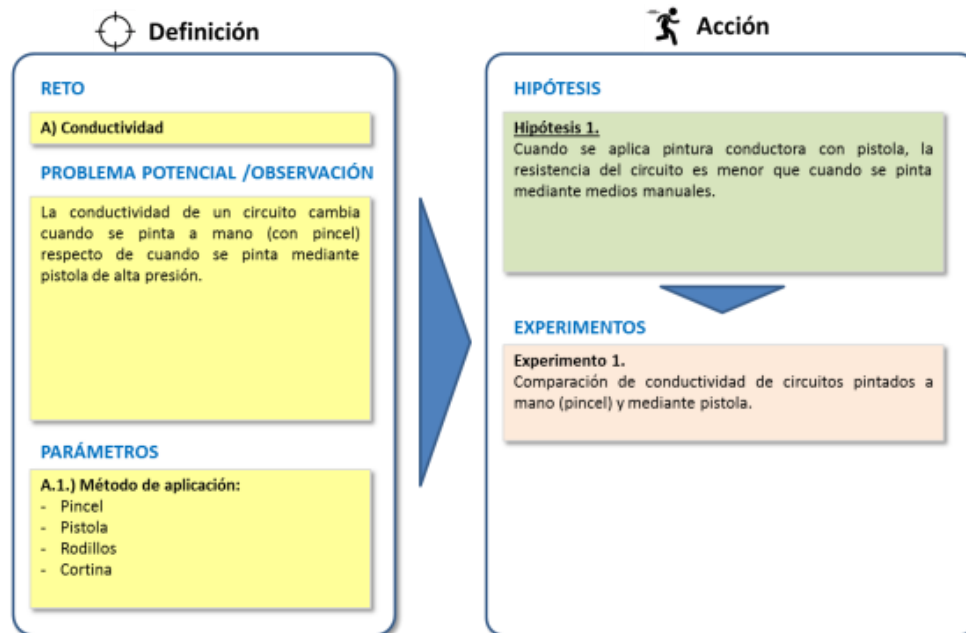


Figura 3. Hipótesis 1.
Fuente: elaboración propia

Problemática 2: Estimación de la resistencia del circuito.

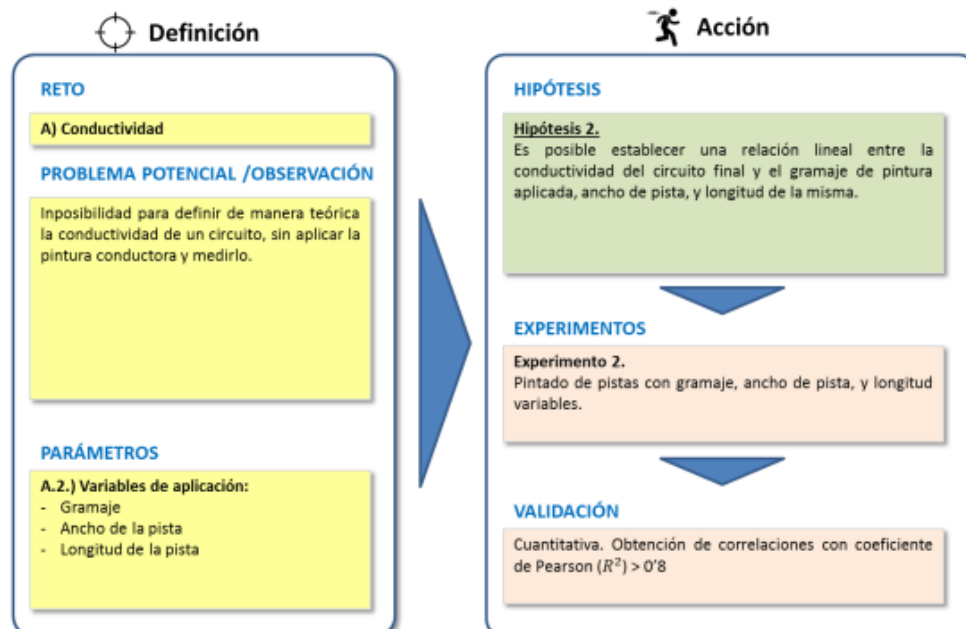


Figura 4. Hipótesis 2.
Fuente: elaboración propia

WIREWOOD

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

Problemática 3: Diferencia de la conductividad en el canto y en la cara de una pieza

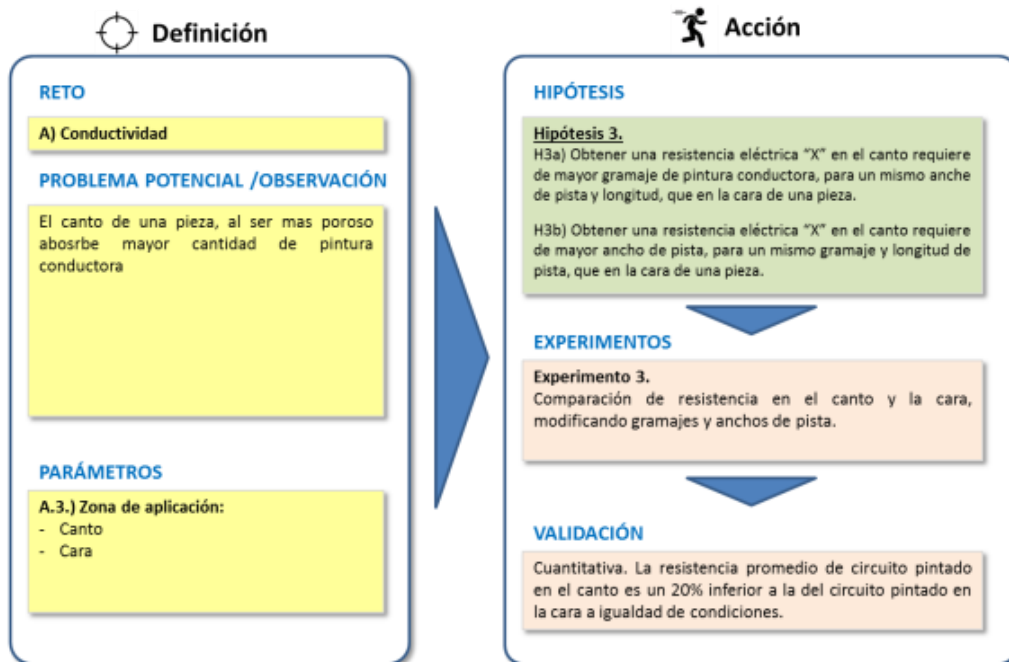


Figura 5. Hipótesis 3.
Fuente: elaboración propia

Problemática 4: Transmisión de la conductividad en los cambios de plano

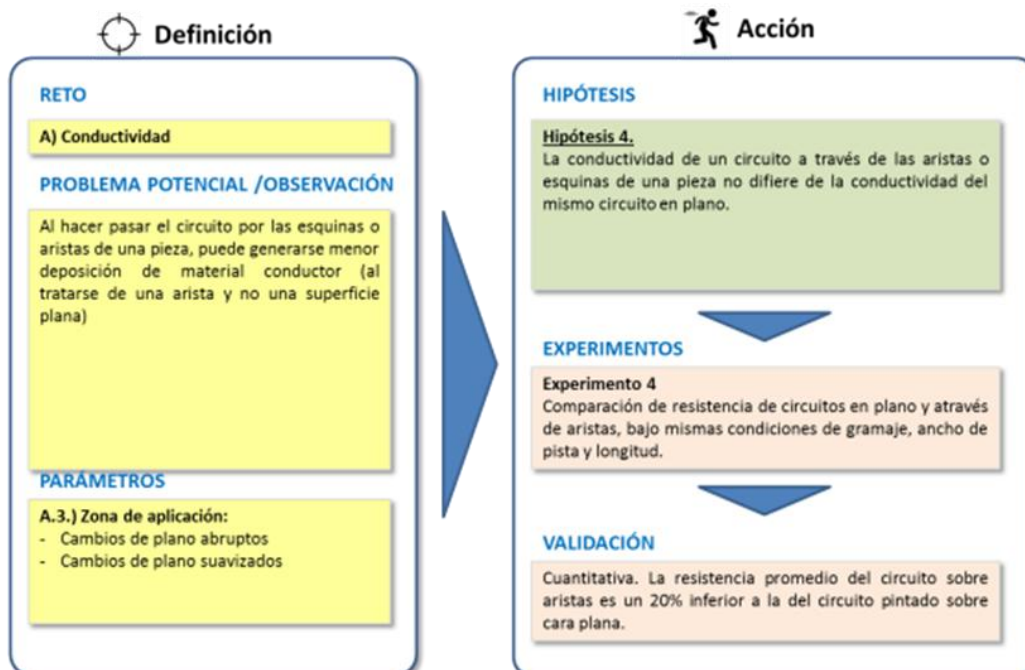


Figura 6. Hipótesis 4.
Fuente: elaboración propia

WIREWOOD

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

2.2 PROBLEMAS DE ACABADO.

A continuación, una vez determinado las mejores condiciones para conseguir una mayor conductividad, iniciamos el proceso de acabado. En esta fase del proyecto se analizó la influencia del acabado final, ya sea barniz, laca e incluso el chapado del canto, en la conductividad final. A la vez se analizó los problemas de carácter estético que podrían surgir por la comparación visual de zonas con pintura conductora y laca, con zonas limítrofes sin pintura conductora pero lacadas.

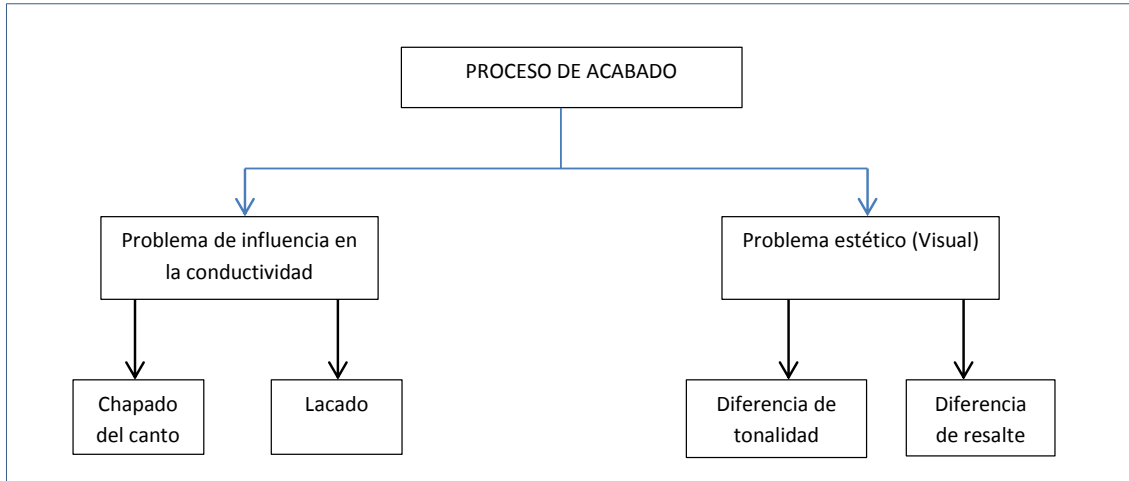


Figura 7. Esquema de los problemas de acabado.

Fuente: elaboración propia

Problemática 5: Afectación del chapado del canto en la conductividad

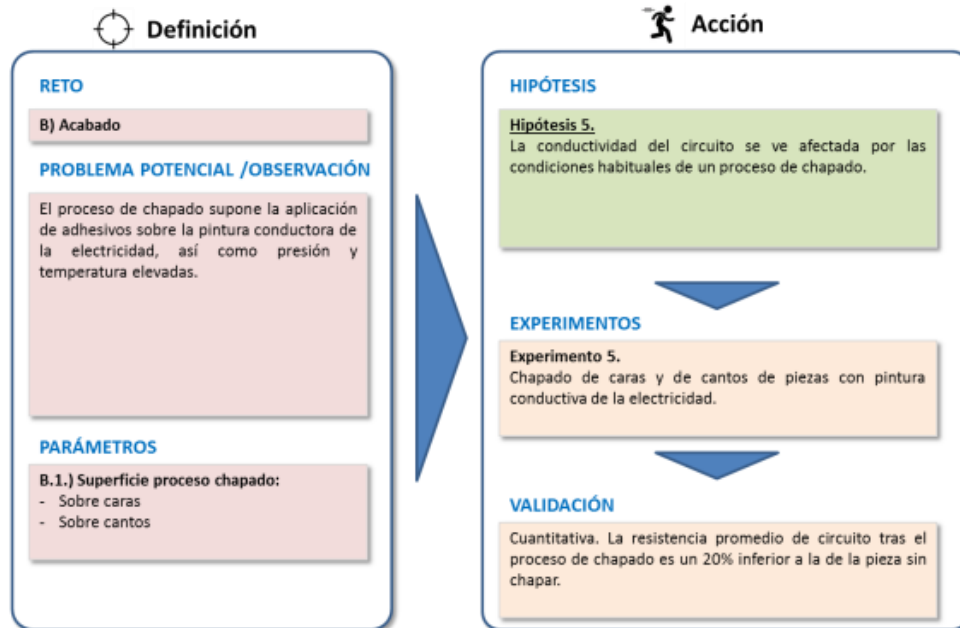


Figura 8. Hipótesis 5.

Fuente: elaboración propia

WIREWOOD

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

Problemática 6: Afectación del lacado de la pieza en la conductividad

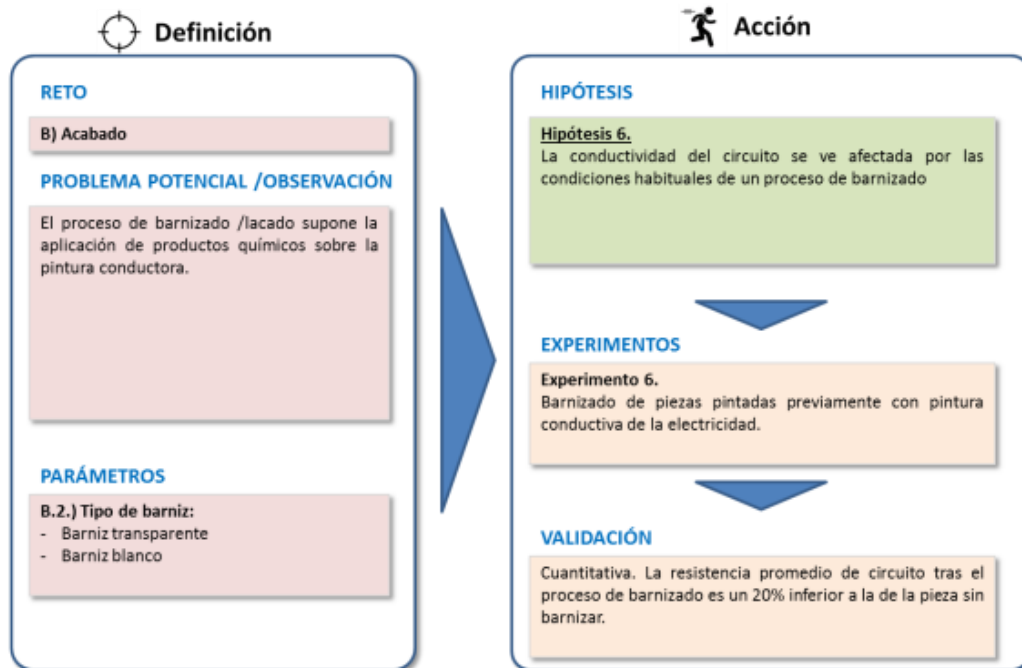


Figura 9. Hipótesis 6.

Fuente: elaboración propia

Problemática 7: Resaltes superficiales

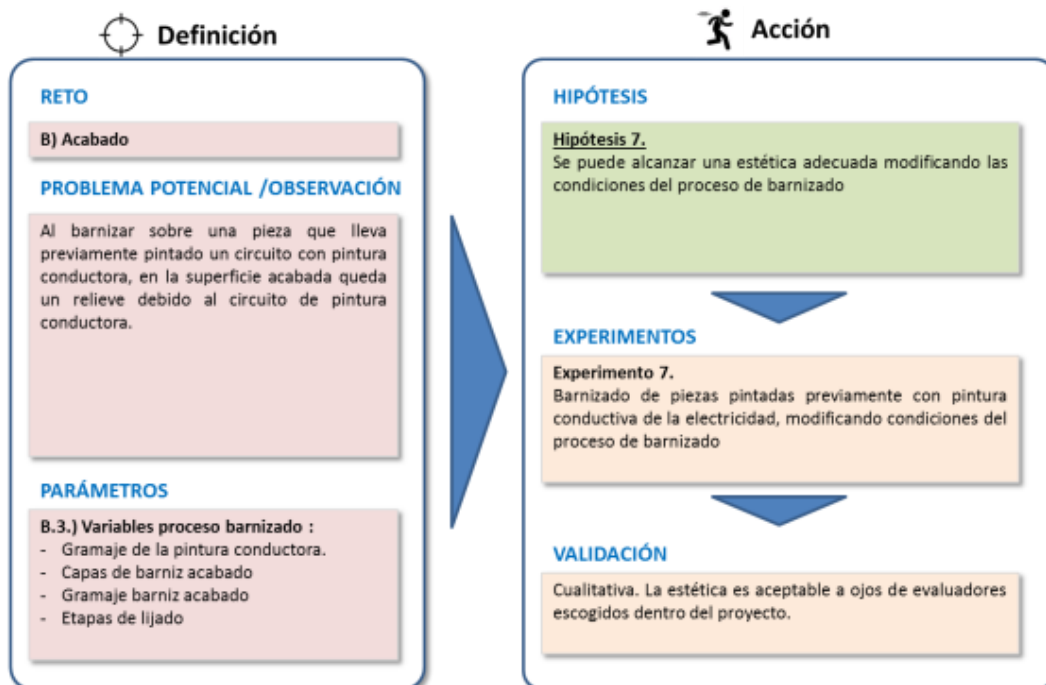


Figura 10. Hipótesis 7.

Fuente: elaboración propia

WIREWOOD

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

Problemática 8: Diferencia de tonalidad

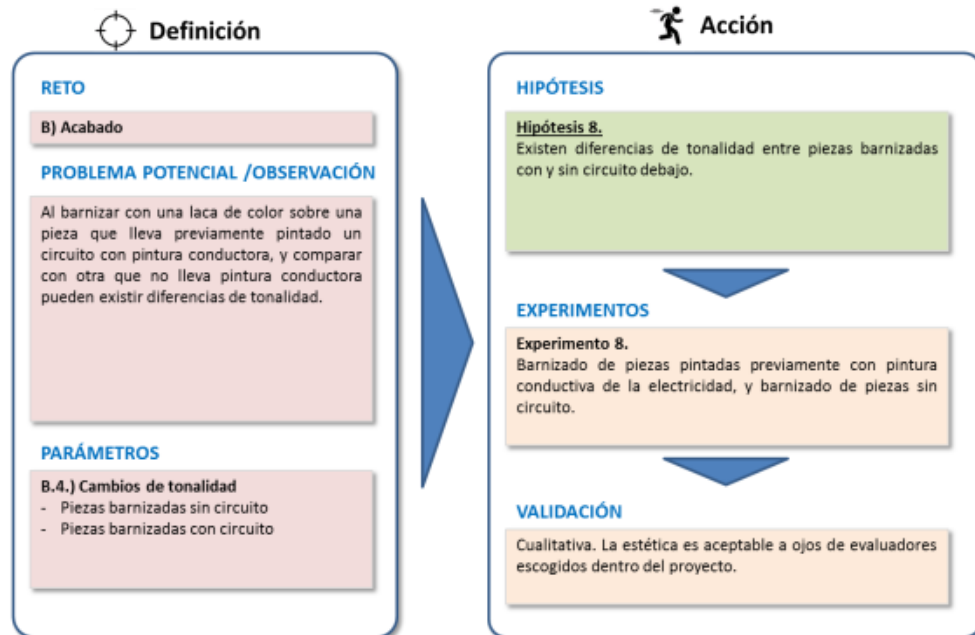


Figura 11. Hipótesis 8.
Fuente: elaboración propia

2.3 PROBLEMAS DE UNIÓN ENTRE PIEZAS.

Problemática 9:

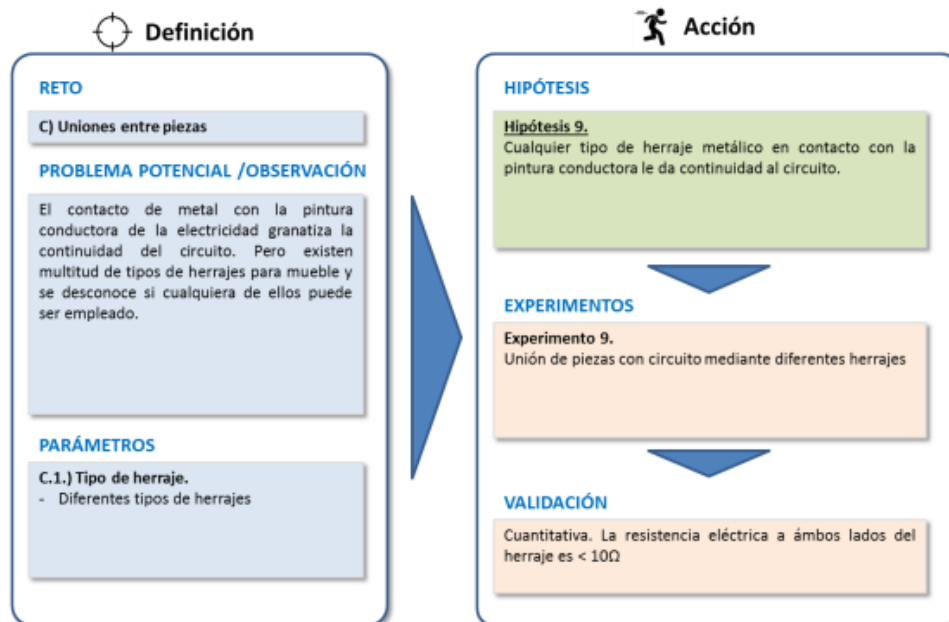


Figura 12. Hipótesis 9.
Fuente: elaboración propia

WIREWOOD

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

Problemática 10:

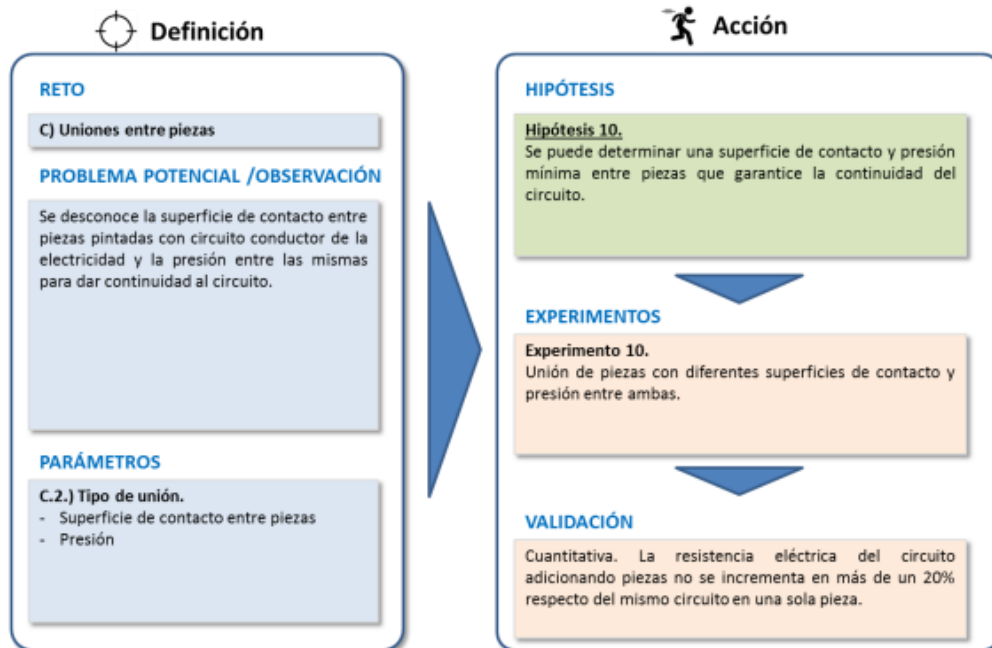


Figura 13. Hipótesis 10.
Fuente: elaboración propia

Problemática 11:

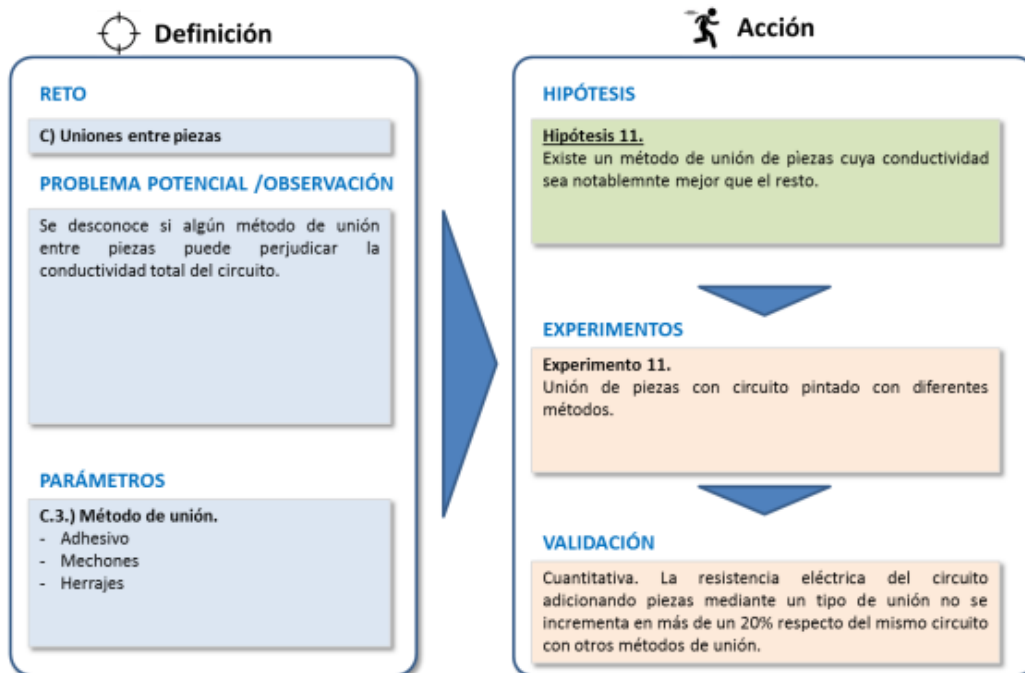


Figura 14. Hipótesis 11.
Fuente: elaboración propia

WIREWOOD

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

Problemática 12:

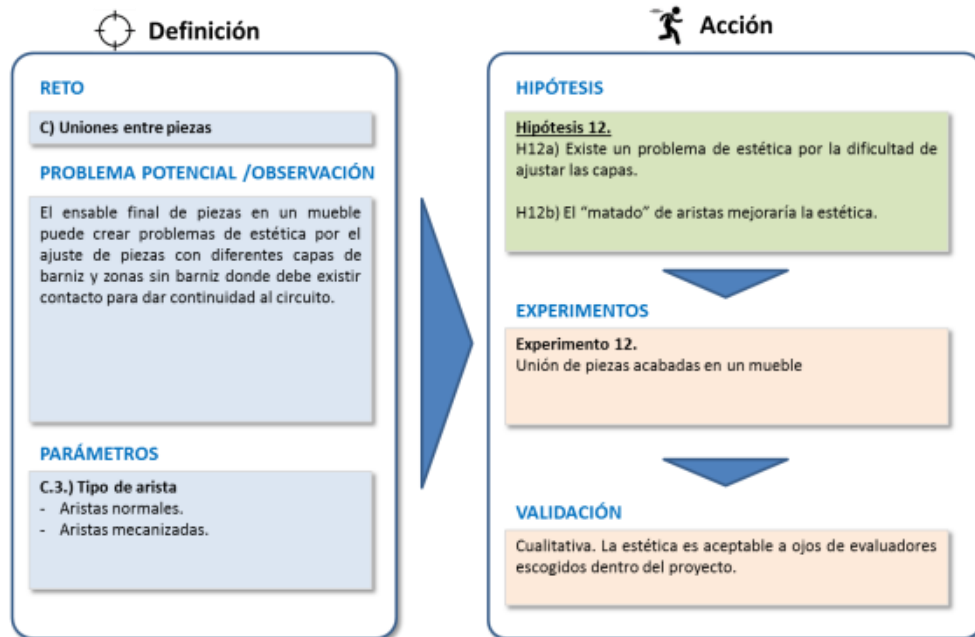


Figura 15. Hipótesis 12.
Fuente: elaboración propia

2.4 PROBLEMAS DE UNIÓN ENTRE MÓDULOS.

Problemática 13:

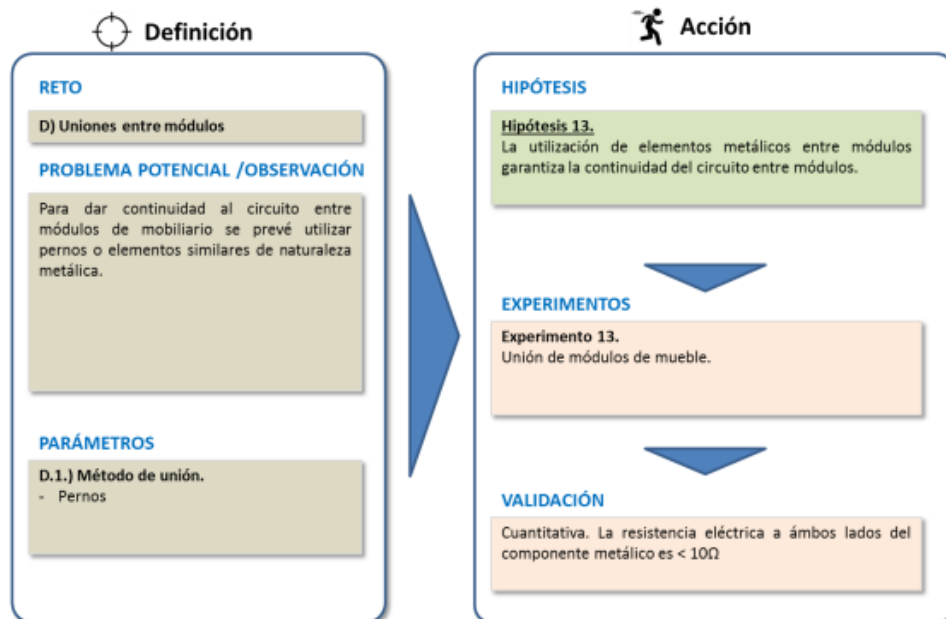


Figura 16. Hipótesis 13.
Fuente: elaboración propia

WIREWOOD

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

2.5 PROBLEMAS DE CONEXIÓN PINTURA-ELECTRÓNICA.

Problemática 14:

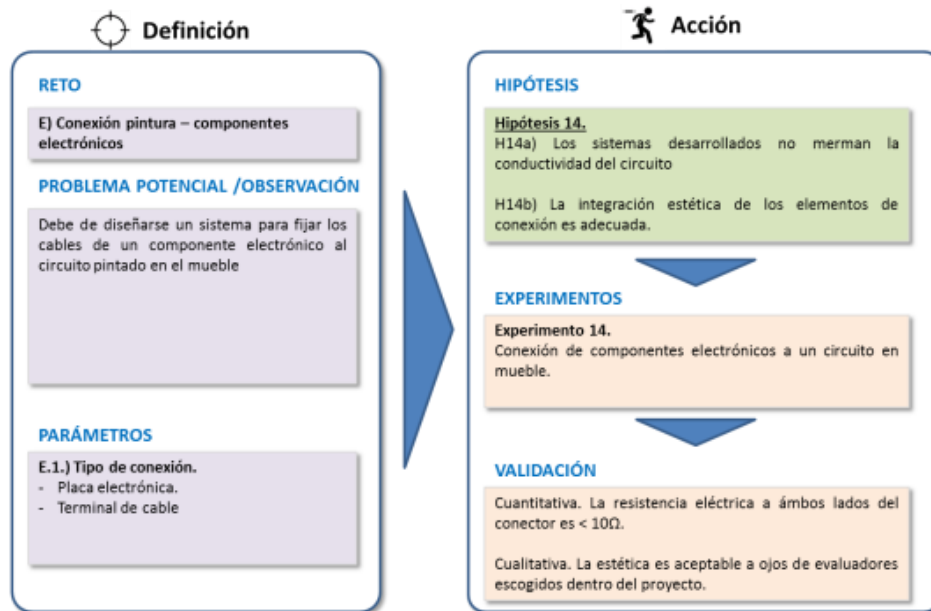


Figura 17. Hipótesis 14.
Fuente: elaboración propia

WIREWOOD

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

3 VALIDACIÓN DE HIPÓTESIS. PRUEBAS DE FABRICACIÓN.

3.1 HIPÓTESIS 1.

Hipótesis 1.

Cuando se aplica pintura conductora con pistola, la resistencia del circuito es menor que cuando se pinta mediante medios manuales.

Experimento 1.

Comparación de conductividad de circuitos pintados a mano (pincel) y mediante pistola.

Resultados.

La generación del circuito mediante métodos manuales (pincel o rodillos) genera mayor resistencia en el circuito que con pistola aerográfica. De media los resultados se encuentran en una horquilla entre el 20% - 25% menores con pistola.

Al aplicar la pintura con pistola, se puede repartir de forma más homogénea por la superficie de la pieza.

Validación hipótesis.

Cuantitativa. La resistencia promedio de circuito pintado con pistola es un 20% inferior a la del circuito pintado a mano

Según los resultados obtenidos, la resistencia al pintar con pistola es al menos un 20% menor. Por tanto la **hipótesis queda validada**.

Conclusiones.

- Se debe de pintar el circuito con medios que garanticen un reparto homogéneo de la pintura, como es el caso de la pistola.

3.2 HIPÓTESIS 2.

Hipótesis 2.

Es posible establecer una relación lineal entre la conductividad del circuito final y el gramaje de pintura aplicada, ancho de pista, y longitud de la misma.

WIREWOOD

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

Experimento 2.

Pintado de pistas con gramaje, ancho de pista, y longitud variables.

Resultados.

Mediante las herramientas estadísticas de Matlab, se ha buscado una ecuación de relación lineal multivalente que relacionara todos los parámetros mostrados. Sin embargo, el coeficiente de correlación lineal de Pearson obtenido era del 0'41, lejos del 0'8 fijado como mínimo para dar por buena la relación.

En la siguiente imagen se puede apreciar es estimador de la bondad del modelo así como la dispersión entre los valores reales y los propuestos por el modelo.

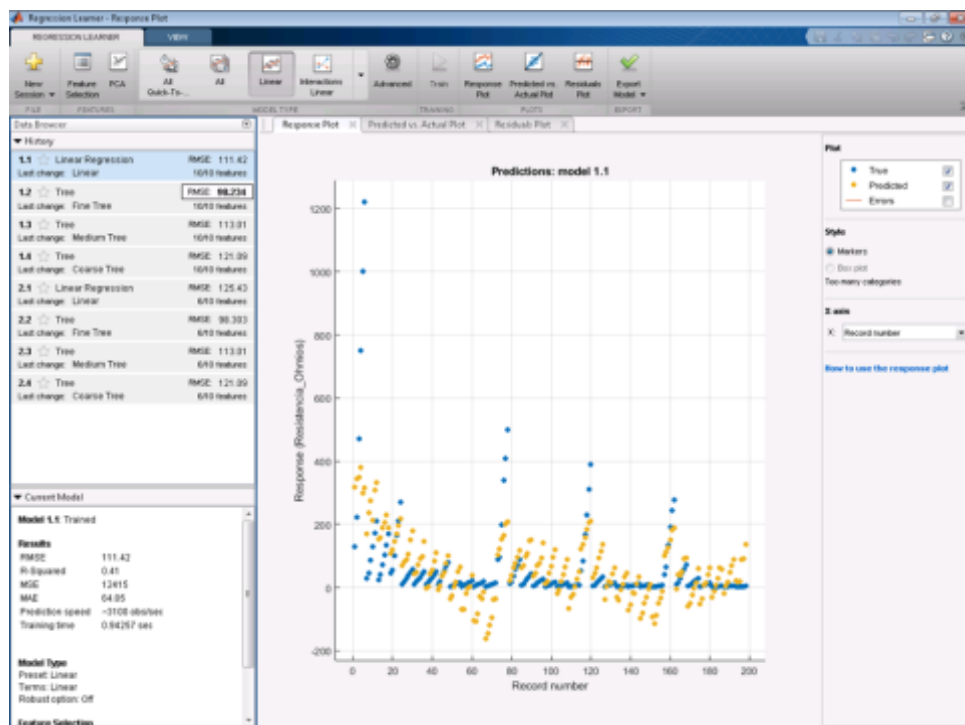


Figura 18. Modelo de correlación lineal en Matlab.

Fuente: elaboración propia

Se han probado otros modelos (en árbol) en búsqueda de un mejor índice de correlación. En modelo que obtiene un mejor índice solo alcanza al 0'6.

Si se analiza el valor de la resistencia eléctrica en promedio para todos los anchos de pista, se aprecia como con el gramaje menor (0'01 gr/cm²) se genera una resistencia eléctrica mucho menor que con el resto de gramajes.

WIREWOOD

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

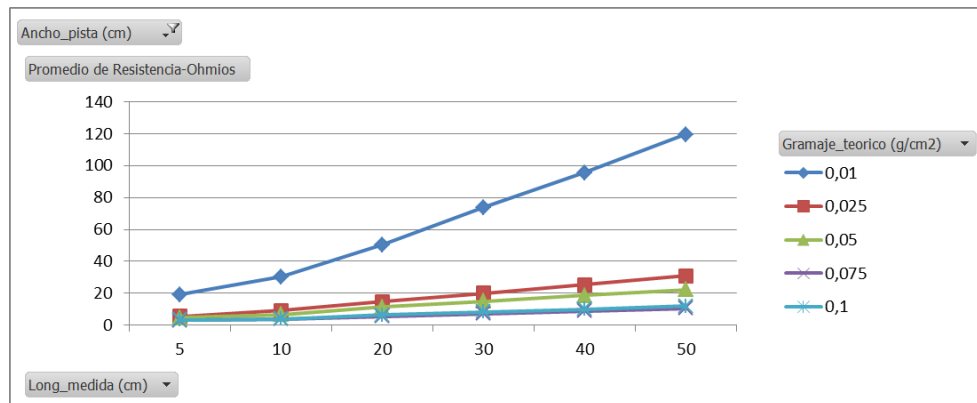


Figura 19. Relación entre longitud circuito, ancho de pista y gramaje.
Fuente: elaboración propia

Se analiza de manera individual cada ancho de pista y cada gramaje en función de la longitud las relaciones son perfectamente lineales, obteniendo coeficientes de correlación de Pearson por encima de 0,98 en todos los casos.

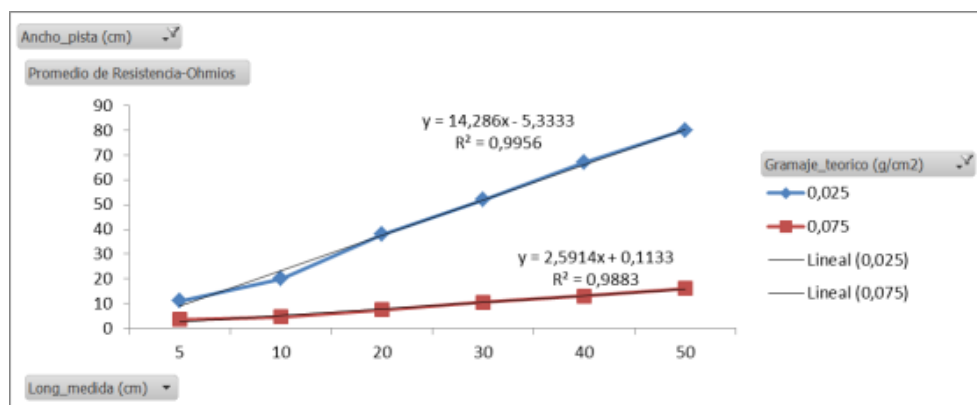


Figura 20. Relación entre longitud circuito y gramaje para 1cm de ancho de pista.
Fuente: elaboración propia

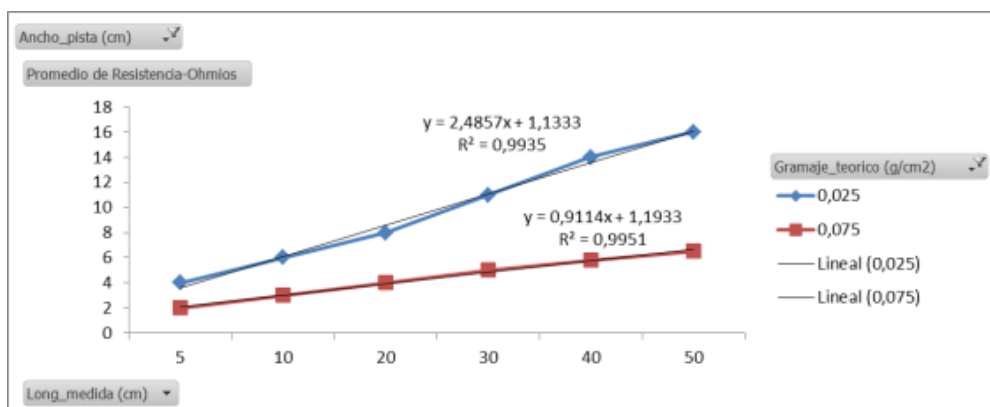


Figura 21. Relación entre longitud circuito y gramaje para 2cm de ancho de pista.
Fuente: elaboración propia

WIREWOOD

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

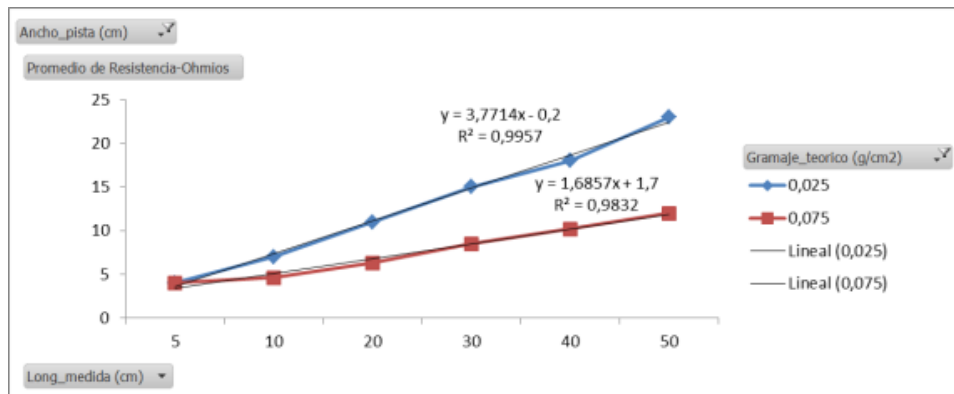


Figura 22. Relación entre longitud circuito y gramaje para 3cm de ancho de pista.

Fuente: elaboración propia

Validación hipótesis.

Cuantitativa. Obtención de correlaciones con coeficiente de Pearson (R^2) > 0'8

No se puede obtener un modelo generalizado para todos los estados de las tres variables implicadas.

Sin embargo, si se fija un gramaje cercano a 0'025 gr/cm², y se seleccionan anchos de pista de 1, 2 o 3 cm, se pueden establecer relaciones lineales fiables. Un ancho de pista mayor dificultaría la adopción del sistema 32 de mecanizados, y un ancho d pista menor aumenta la resistencia del circuito notablemente. **Por tanto, hipótesis validada.**

3.3 HIPÓTESIS 3.

Hipótesis 3.

H3a) Obtener una resistencia eléctrica "X" en el canto requiere de mayor gramaje de pintura conductora, para un mismo ancho de pista y longitud, que en la cara de una pieza.

H3b) Obtener una resistencia eléctrica "X" en el canto requiere de mayor ancho de pista, para un mismo gramaje y longitud de pista, que en la cara de una pieza.

Experimento 3.

Comparación de resistencia en el canto y la cara, modificando gramajes y anchos de pista.

Resultados.

En todos los casos la resistencia eléctrica era similar.

WIREWOOD

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

Validación hipótesis.

Cuantitativa. La resistencia promedio de circuito pintado en el canto es un 20% inferior a la del circuito pintado en la cara a igualdad de condiciones.

Dado que no han existido diferencias apreciables de resistencia **la hipótesis queda validada.**

3.4 HIPÓTESIS 4.

Hipótesis 4.

La conductividad de un circuito a través de las aristas o esquinas de una pieza no difiere de la conductividad del mismo circuito en plano.

Experimento 4

Comparación de resistencia de circuitos en plano y a través de aristas, bajo diferentes condiciones de gramaje, ancho de pista y longitud.

Resultados.

Se realiza el promedio de mediciones de resistencia eléctrica de cada probeta (muestra) para mediciones en plano (color azul de la gráfica inferior), y mediciones con una arista de por medio (color rojo).

En todas las muestras la resistencia en la zona de medición con arista resulta inferior que en la zona plana.

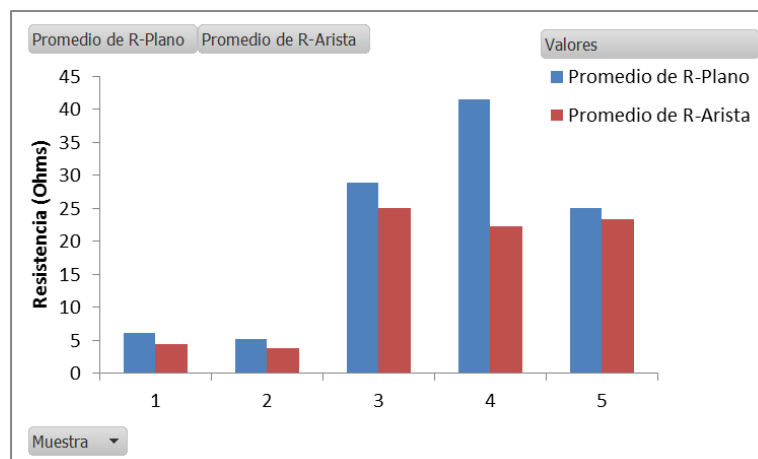


Figura 23. Resultados medición – Hipótesis 4.

Fuente: elaboración propia.

WIREWOOD

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

En la siguiente tabla se aprecian los valores promedios en cada probeta, así como las diferencias absolutas y porcentuales entre las mediciones en plano y mediciones con arista de por medio.

Muestra	Promedio de R-Plano (Ω)	Promedio de R-Arista (Ω)	Diferencia (Ω)	Diferencia %
1	6,1	4,4	-1,8	-29%
2	5,1	3,9	-1,3	-25%
3	28,9	25,0	-3,9	-13%
4	41,6	22,3	-19,3	-46%
5	25,0	23,4	-1,6	-7%
Promedio	21,3	15,8	-5,6	-24%

Figura 24. Tabla de resultados – Hipótesis 4.
Fuente: elaboración propia.

Validación hipótesis.

Cuantitativa. La resistencia promedio del circuito sobre aristas es un 20% inferior a la del circuito pintado sobre cara plana.

Según los resultados obtenidos, en ninguna de las muestras el promedio de la resistencia del tramo con arista es superior a la resistencia en el tramo el plano. Por tanto la **hipótesis queda validada**.

Conclusiones.

- Se puede diseñar un circuito pintando sobre diferentes planos de una pieza (pasando por esquinas y aristas) sin mermar la conductividad.
- A priori, no existe ninguna justificación para la bajada de resistencia eléctrica en los tramos con aristas respecto de los tramos planos. Se considera probable, que al haberse pintado de forma manual (con pincel) pueden haberse quedado rebabas de pintura en las esquinas que han aumentado ligeramente el gramaje en esa zona, y de ahí la bajada de resistencia.
Se verificará esta consideración en la fabricación del prototipo demostrador esta consideración.

3.5 HIPÓTESIS 5.

Hipótesis 5.

La conductividad del circuito se ve afectada por las condiciones habituales de un proceso de chapado.

Experimento 5.

Chapado de caras y de cantos de piezas con pintura conductiva de la electricidad.

WIREWOOD

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

Resultados.

En ninguno de los casos se produjo incremento de la resistencia eléctrica tras el proceso de chapado.

Validación hipótesis.

Cuantitativa. La resistencia promedio de circuito tras el proceso de chapado es un 20% inferior a la de la pieza sin chapar.

A la vista de los resultados **la hipótesis de trabajo queda validada.**

3.6 HIPÓTESIS 6.

Hipótesis 6.

La conductividad del circuito se ve afectada por las condiciones habituales de un proceso de barnizado

Experimento 6.

Barnizado de piezas pintadas previamente con pintura conductiva de la electricidad.

Resultados.

No se apreciaron aumentos de la resistencia eléctrica tras el proceso de barnizado.

Validación hipótesis.

Cuantitativa. La resistencia promedio de circuito tras el proceso de barnizado es un 20% inferior a la de la pieza sin barnizar.

A la vista de los resultados **la hipótesis de trabajo queda validada.**

3.7 HIPÓTESIS 7.

Hipótesis 7.

Se puede alcanzar una estética adecuada modificando las condiciones del proceso de barnizado

Experimento 7.

Barnizado de piezas pintadas previamente con pintura conductiva de la electricidad, modificando condiciones del proceso de barnizado

WIREWOOD

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

Resultados.

Se dan por malos los acabados que implican gramajes de pintura conductora de la electricidad por encima de 150 gr/m^2 . Del mismo modo, se dan por malos los acabados con gramajes por debajo de 540 gr/m^2 .

Además, se verificó como aquellas muestras que pasaban por un proceso previo de lijado de la pista conductora de la electricidad mejoraba el nivel de acabado.

Se muestran a continuación imágenes de acabados considerado no adecuado.



Figura 25. Ejemplos de acabados no adecuados.
Fuente: elaboración propia.

A continuación, se muestran dos ejemplos de acabados adecuados.

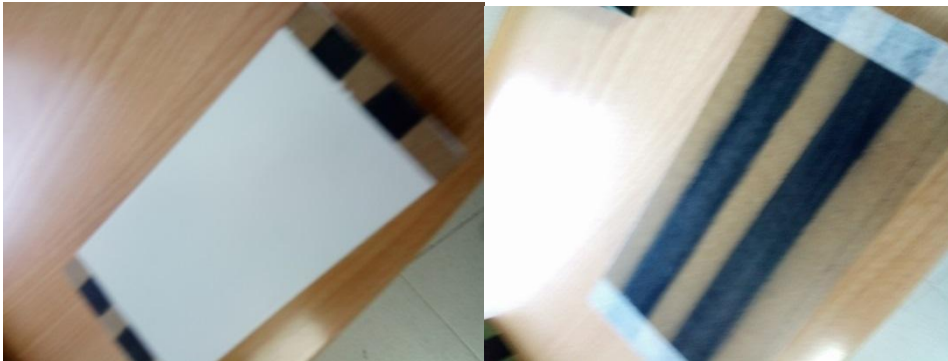


Figura 26. Ejemplos de acabados adecuados.
Fuente: elaboración propia.

Validación hipótesis.

Cualitativa. La estética es aceptable a ojos de evaluadores escogidos dentro del proyecto.

A la vista de los resultados **la hipótesis es validada.**

WIREWOOD

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

3.8 HIPÓTESIS 8.

Hipótesis 8.

Existen diferencias de tonalidad entre piezas barnizadas con y sin circuito debajo.

Experimento 8.

Barnizado de piezas pintadas previamente con pintura conductiva de la electricidad, y barnizado de piezas sin circuito.

Resultados.

Incluso con los gramajes de laca blanca más bajos, no se aprecia el color negro de la pintura conductora de la electricidad.

Validación hipótesis.

Cualitativa. La estética es aceptable a ojos de evaluadores escogidos dentro del proyecto.

A la vista de los resultados, **la hipótesis queda rechazada.**

3.9 HIPÓTESIS 9.

Hipótesis 9.

Cualquier tipo de herraje metálico en contacto con la pintura conductora le da continuidad al circuito.

Experimento 9.

Unión de piezas con circuito mediante diferentes herrajes

Resultados.

La resistencia eléctrica medida se muestra en una horquilla de 1-3 Ω .

Validación hipótesis.

Cuantitativa. La resistencia eléctrica a ambos lados del herraje es $< 10\Omega$

A la vista de los resultados, **la hipótesis queda validada.**

WIREWOOD

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

3.10 HIPÓTESIS 10.

Hipótesis 10.

Se puede determinar una superficie de contacto y presión mínima entre piezas que garantice la continuidad del circuito.

Experimento 10.

Unión de piezas con diferentes superficies de contacto y presión entre ambas.

Resultados.

La presión entre tableros no influye en la conductividad, ya que ante incrementos de presión entre piezas la conductividad se mantiene constante. La variable importante es garantizar la superficie de contacto.

Peso ejercido entre piezas (gr)	Resistencia (Ω)
0	56
361	55
726	56
1.056	58
1417	56
1775	58
2142	54
5000	57

Se verifica que un simple contacto garantiza la continuidad de por ejemplo un circuito de iluminación, donde se comprueba que una luz led se iluminan simplemente por el contacto entre piezas.



Figura 27. Iluminación por contacto.

Fuente: elaboración propia.

WIREWOOD

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

Validación hipótesis.

Cuantitativa. La resistencia eléctrica del circuito adicionando piezas no se incrementa en más de un 20% respecto del mismo circuito en una sola pieza.

A la vista de los resultados, **la hipótesis queda validada**. Tan solo es necesaria una superficie de contacto equivalente al ancho de pista. El aumento de la presión no es determinante.

3.11 HIPÓTESIS 11.

Hipótesis 11.

Existe un método de unión de piezas cuya conductividad sea notablemente mejor que el resto.

Experimento 11.

Unión de piezas con circuito pintado con diferentes métodos.

Resultados.

- Mediante adhesivo.

En la zona con adhesivo el circuito no tienen continuidad y la corriente no se conduce, tanto en la pista de 2cm, como en la pista de 3cm.

Muestra	Tipo unión	Pista	R-Unión (Ω)
1	Adhesivo	2cm	No conduce (61.000 Ω)
1	Adhesivo	3cm	No conduce (63.000 Ω)

Figura 28. Tabla de resultados – Hipótesis 11.

Fuente: elaboración propia.

Datos de conductividad sobre una longitud de 9 cm.

- Mediante herrajes.

Los herrajes metálicos añaden en todos los casos una resistencia despreciable (por debajo de 3 Ω) a la resistencia del circuito sin los mismos.

- Unión de piezas solo por contacto.

El contacto entre diferentes superficies es suficiente para dar continuidad al circuito.

Ancho pista	1cm	2 cm
Después:	22'5 Ω	17'1 Ω

Datos de conductividad sobre una longitud de 28 cm.

WIREWOOD

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

Validación hipótesis.

Cuantitativa. La resistencia eléctrica del circuito adicionando piezas mediante un tipo de unión no se incrementa en más de un 20% respecto del mismo circuito con otros métodos de unión.

Según los resultados obtenidos, **la hipótesis queda validada**, ya que la unión por adhesivo no da continuidad al circuito, mientras que las uniones mediante herraje o mediante contacto directo de la pista entre piezas si lo garantiza.

Conclusiones.

- No se puede utilizar adhesivo entre piezas con circuito pintado sobre ellas.
- No hay problema en utilizar herrajes metálicos para unir piezas y dar continuidad al circuito.
- Se puede dar continuidad al circuito simplemente por contacto de las piezas en la zona de la pintura. Simplemente hay que garantizar una superficie de contacto, así como una presión mínima.
Respecto a la presión mínima, habrá que tener en cuenta a la hora de fabricar un prototipo, que a la hora del montaje final de un mueble no queden holguras entre piezas por tolerancias de fabricación.

3.12 HIPÓTESIS 12.

Hipótesis 12.

H12a) Existe un problema de estética por la dificultad de ajustar las capas.

H12b) El “matado” de aristas mejoraría la estética.

Experimento 12.

Unión de piezas acabadas en un mueble

La validación de la presente hipótesis requiere de la fabricación y montaje de piezas en un mueble, y por tanto se validará en el paquete de trabajo PT6, donde se fabricará un prototipo demostrador.

3.13 HIPÓTESIS 13.

Hipótesis 13.

La utilización de elementos metálicos entre módulos garantiza la continuidad del circuito entre módulos.

Experimento 13.

Unión de módulos de mueble.

WIREWOOD

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

La validación de la presente hipótesis requiere de la fabricación y montaje de piezas en un mueble, y por tanto se validará en el paquete de trabajo PT6, donde se fabricará un prototipo demostrador.

3.14 HIPÓTESIS 14.

Hipótesis 14.

H14a) Los sistemas desarrollados no merman la conductividad del circuito

H14b) La integración estética de los elementos de conexión es adecuada.

Experimento 14.

Conexión de componentes electrónicos a un circuito en mueble.

La validación de la presente hipótesis requiere de la fabricación y montaje de piezas en un mueble, y por tanto se validará en el paquete de trabajo PT6, donde se fabricará un prototipo demostrador.

4 DESARROLLO CONCEPTUAL PROCESO INDUSTRIAL.

4.1 INTRODUCCIÓN.

Partiendo de los resultados obtenidos en el paquete de trabajo PT3, validados en el paquete de trabajo PT4, se ha llevado a cabo un primer diseño conceptual del proceso de aplicación de la pintura conductora sobre madera y tablero.

De manera general, el siguiente diagrama de flujo representa las principales etapas del proceso conceptual desarrollado.

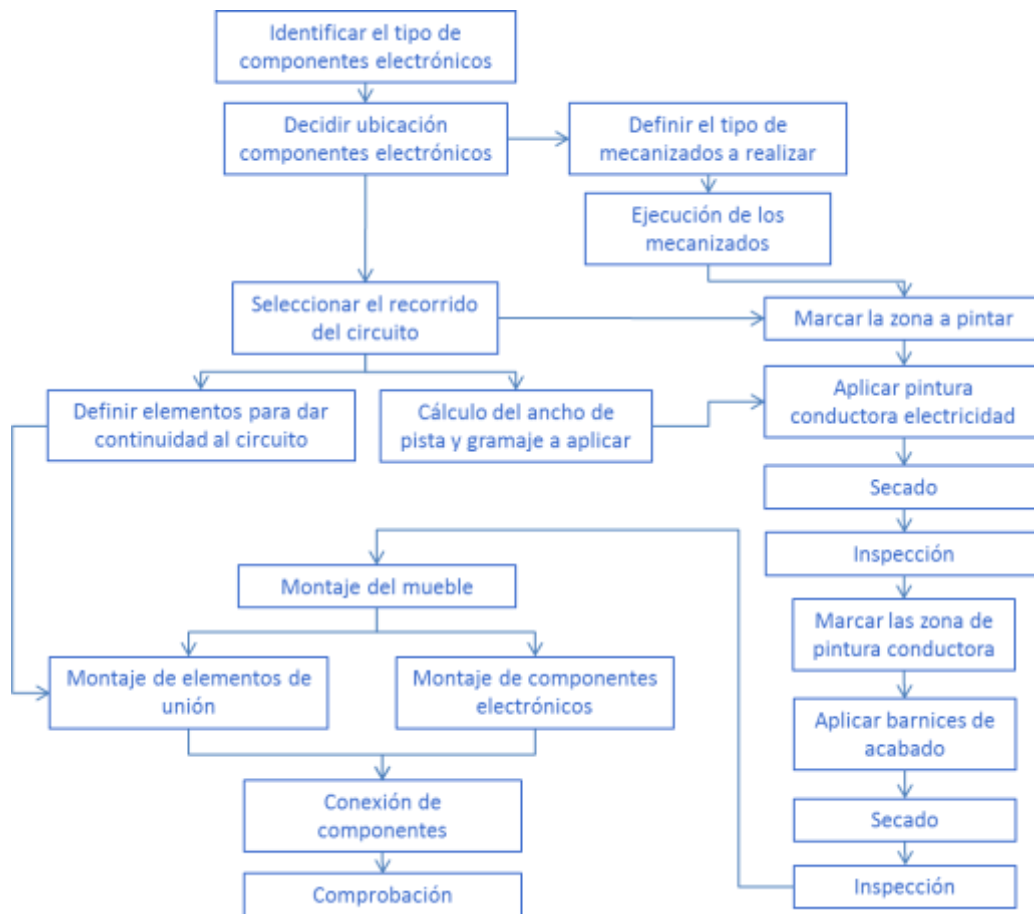


Figura 29. Diagrama de flujo del proceso global (i).
Fuente: elaboración propia.

WIREWOOD

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

El presente proceso global, se ha subdividido en 5 etapas con tareas y objetivos claramente diferenciados:

- Diseño del circuito eléctrico.
- Mecanizados.
- Aplicación de pintura conductora.
- Acabados del mueble.
- Montaje e instalación de componentes.

A continuación se muestra un esquema conceptual de la finalidad de cada una de éstas etapas.

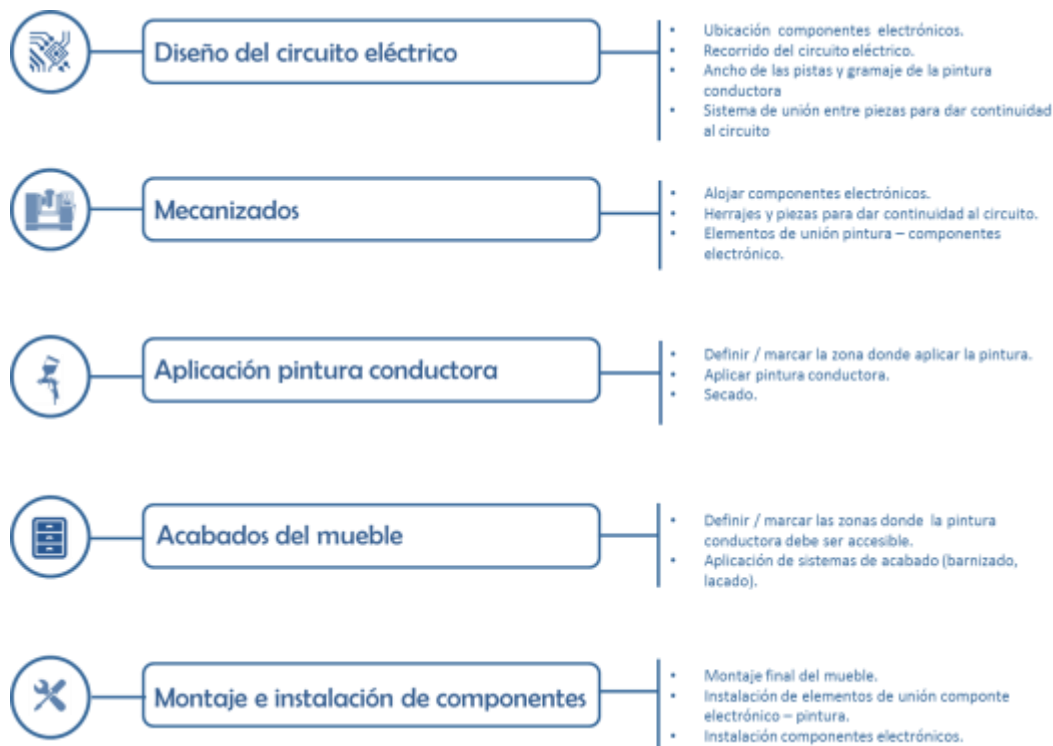


Figura 30. Esquema de las etapas del proceso.
Fuente: elaboración propia.

La relación entre el diagrama de flujo global y las etapas definidas con anterioridad se muestra en la siguiente figura:

WIREWOOD

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

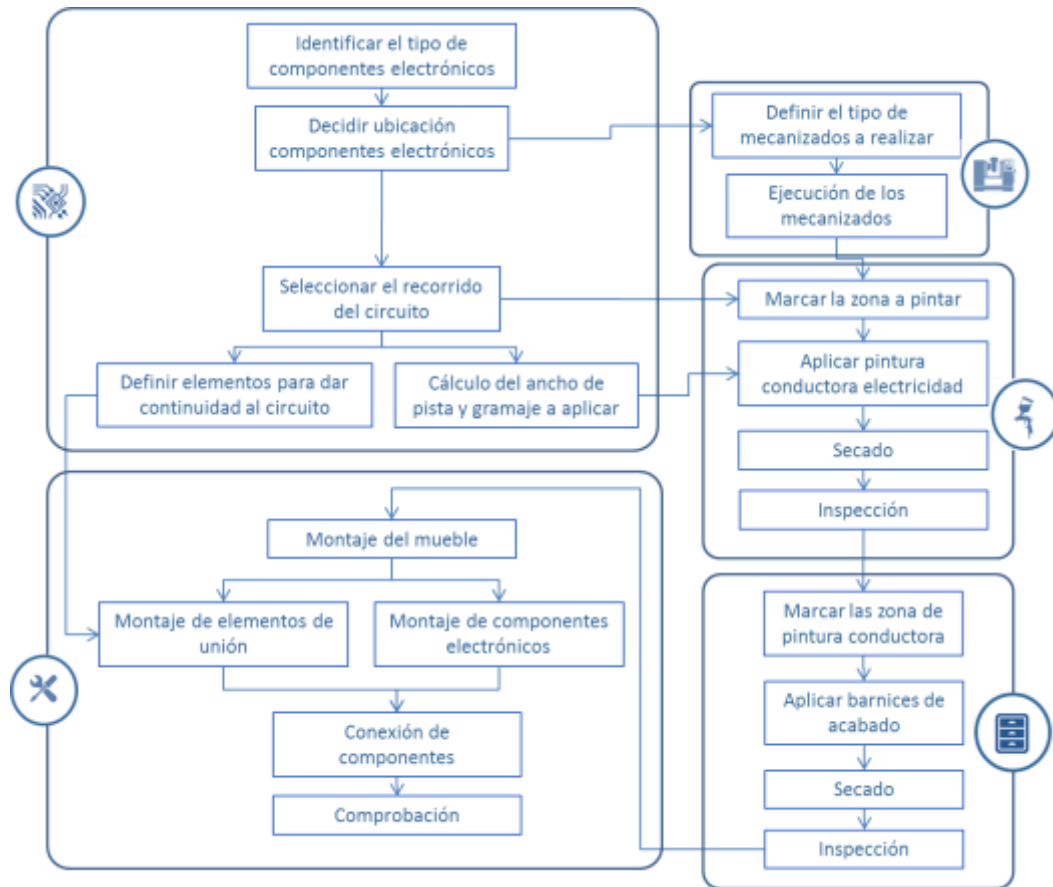


Figura 31. Diagrama de flujo del proceso global (ii).

Fuente: elaboración propia.

Se muestra, a continuación una ficha resumen de cada uno de los sub-procesos desarrollados.

WIREWOOD

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

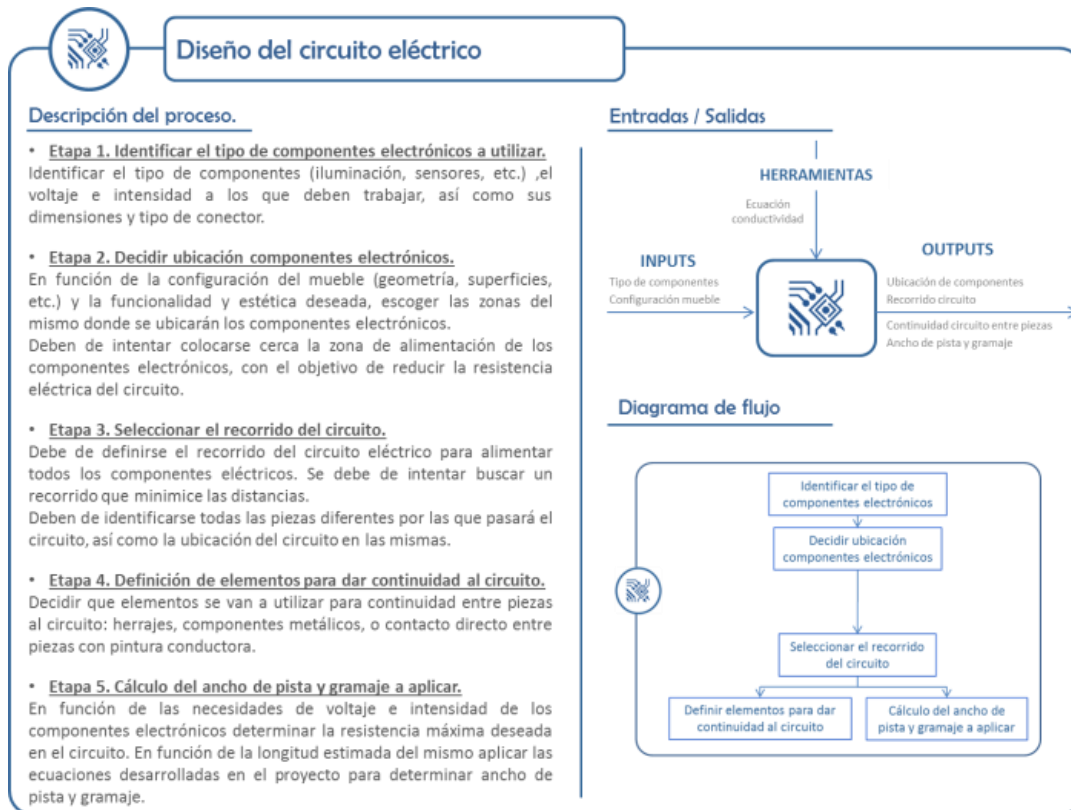


Figura 32. Ficha del sub-proceso de diseño del circuito.
Fuente: elaboración propia.

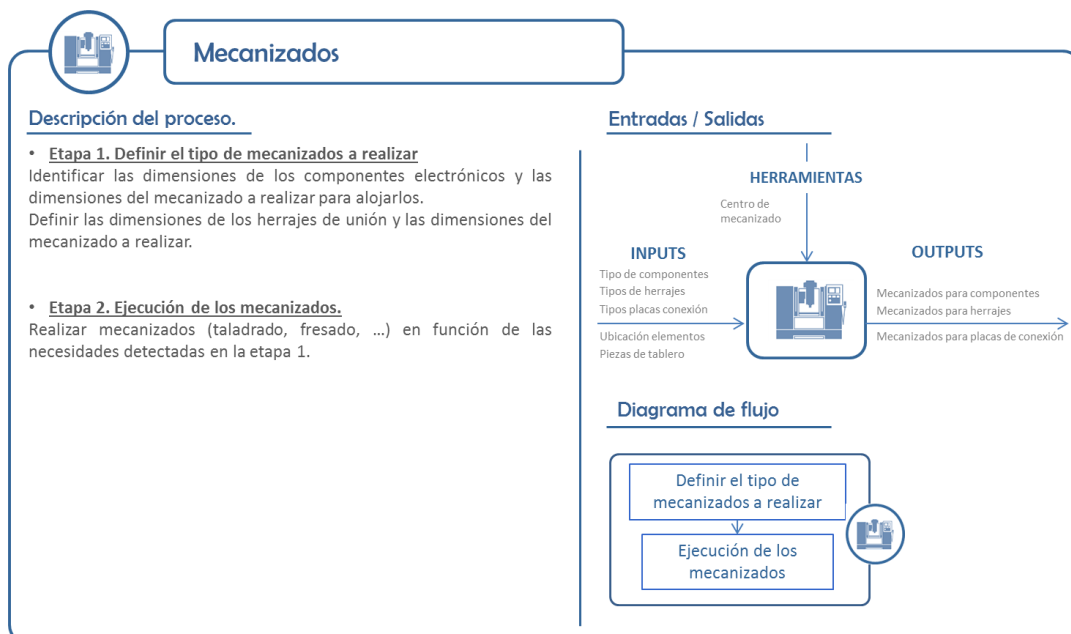


Figura 33. Ficha del sub-proceso de mecanizados.
Fuente: elaboración propia.

WIREWOOD

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

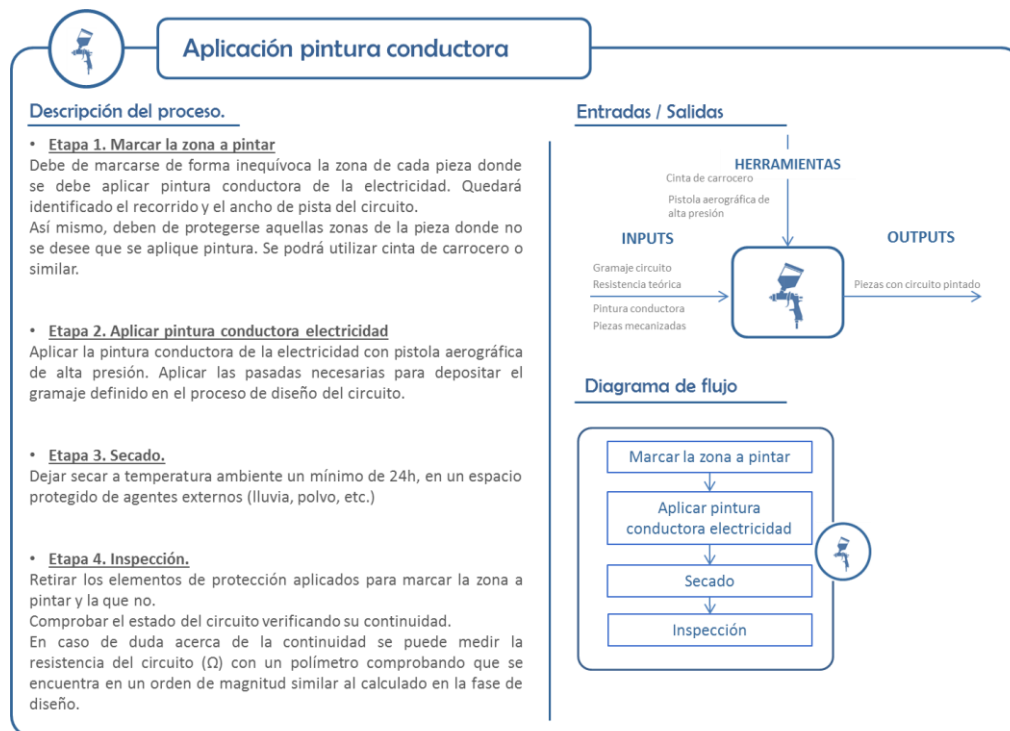


Figura 34. Ficha del sub-proceso de aplicación de pintura conductora.

Fuente: elaboración propia.

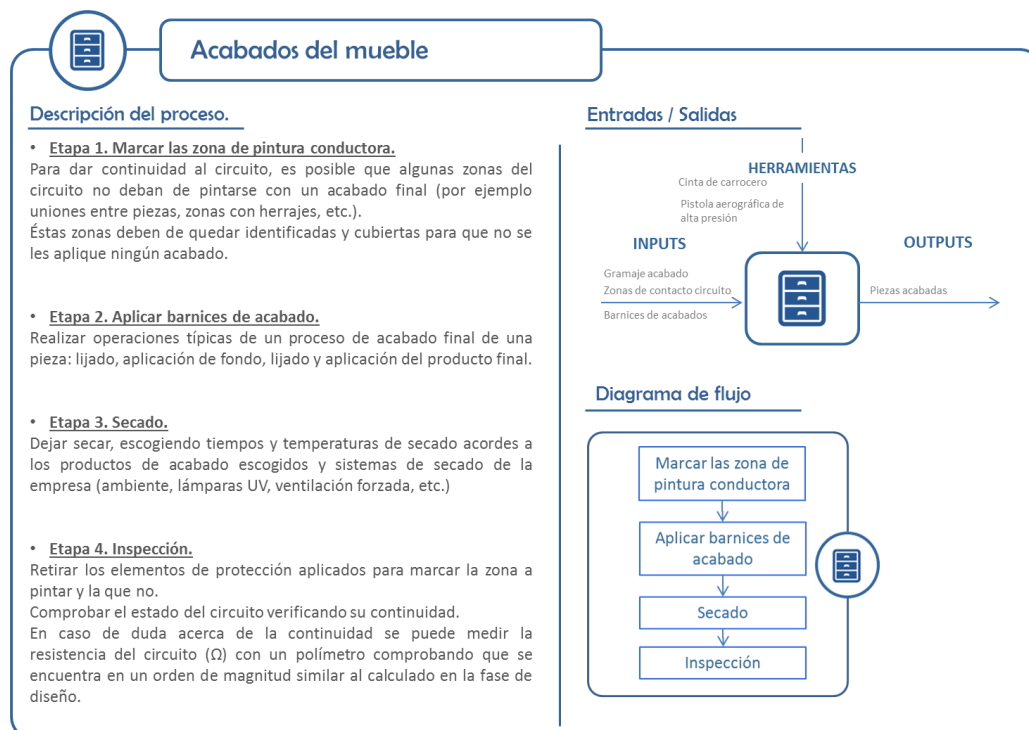


Figura 35. Ficha del sub-proceso de aplicación de acabados.

Fuente: elaboración propia.

WIREWOOD

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

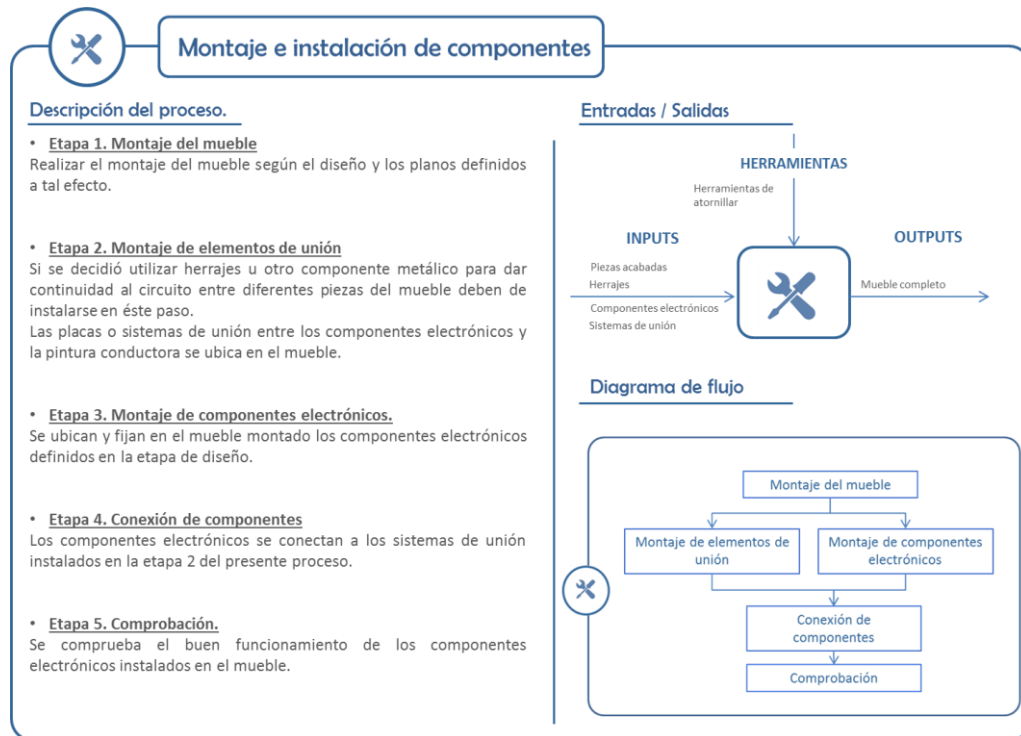


Figura 36. Ficha del sub-proceso de montaje e instalación de componentes.
Fuente: elaboración propia.

WIREWOOD

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

5 DESARROLLO DE PROTOTIPO DEMOSTRADOR.

5.1 DISEÑO CONCEPTUAL DEL PRODUCTO.

Se diseñó una vitrina expositora con diferentes puntos de luz a lo largo del mueble, que permitía varias de las hipótesis pendientes tras el trabajo del PT4.

Se diseñaron bocetos preliminares 2D y 3D para conceptualizar la idea, así como los planos de fabricación.

La propuesta inicial se trataba de un mueble pedestal y una caja “mágica”.

Este mueble está compuesto por dos volúmenes:

- 1/ Un pedestal, con base, cerrado por un lado y abierto por otro, y
- 2/ Una caja expositora.

Las opciones de iluminación que se propusieron en este prototipo son las siguientes:

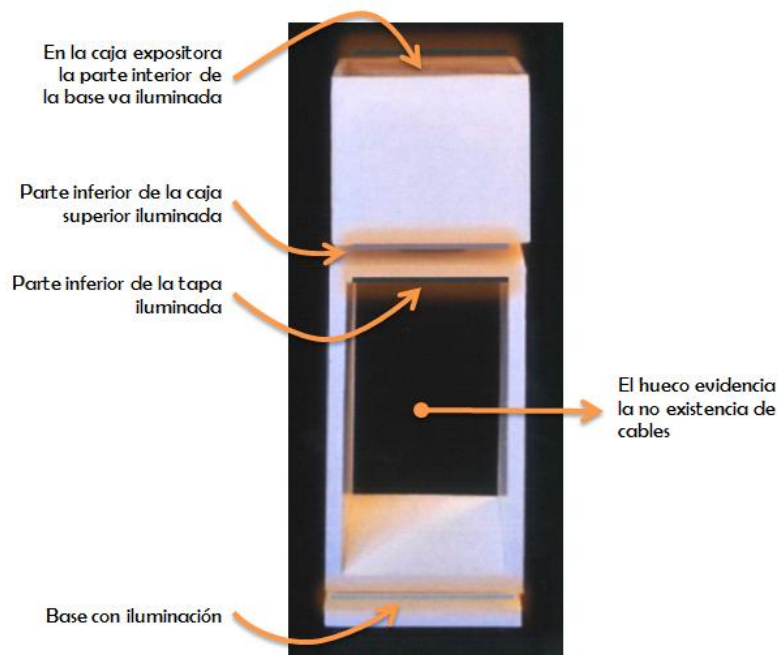


Figura 37. Boceto prototipo (i).
Fuente: elaboración propia.

En base a las conclusiones y análisis obtenidos con el desarrollo y fabricación de una maqueta, se definió un diseño final del prototipo, que se muestra a continuación.

WIREWOOD

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

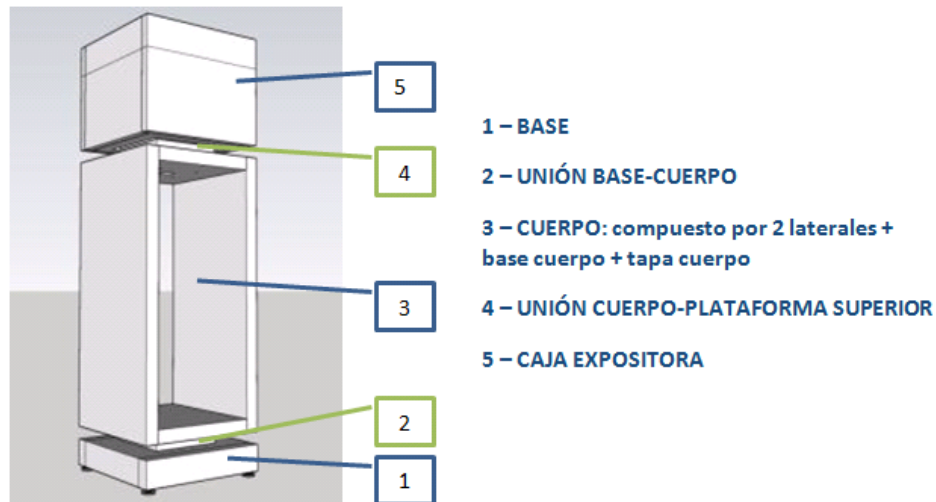


Figura 38. Boceto prototipo (ii).

Fuente: elaboración propia.

Por otro lado hubo una selección de los elementos lumínicos, diseño y planificación del circuito, así como un diseño de placas electrónicas para unir los componentes electrónicos y las piezas del mueble con la pintura conductora.

En la siguiente figura se muestra el diseño del recorrido del circuito de forma general por todo el conjunto del mueble.

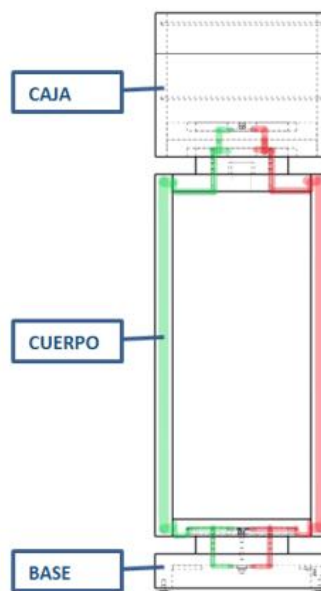


Figura 39. Boceto prototipo (iii).

Fuente: elaboración propia.

WIREWOOD

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

A continuación se muestra el diseño de tres placas de conexión: una para conectar ludes y foco led, otra para alimentar el circuito con una fuente externa, y otra para conectar mediante batería.

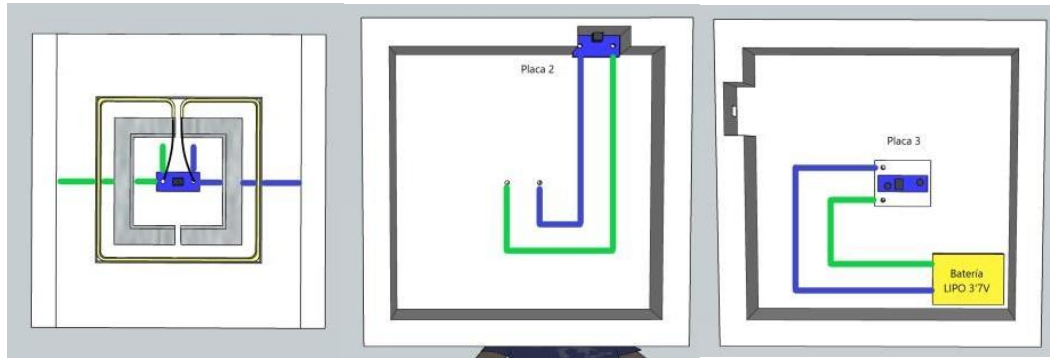
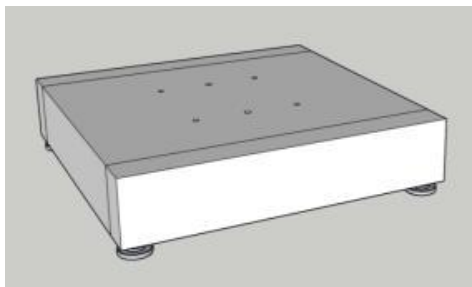


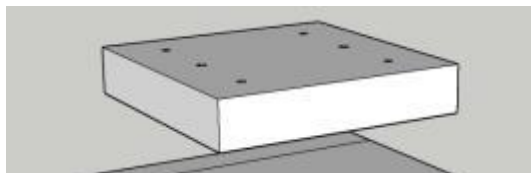
Figura 40. Esquema de las placas de conexión.
Fuente: elaboración propia.

5.2 MECANIZADO DE PIEZAS.

Una vez definido el diseño, se fabricaron las piezas básicas para el ensamblaje de los prototipos. Básicamente se trata de operaciones de corte y mecanizado de madera y tablero.



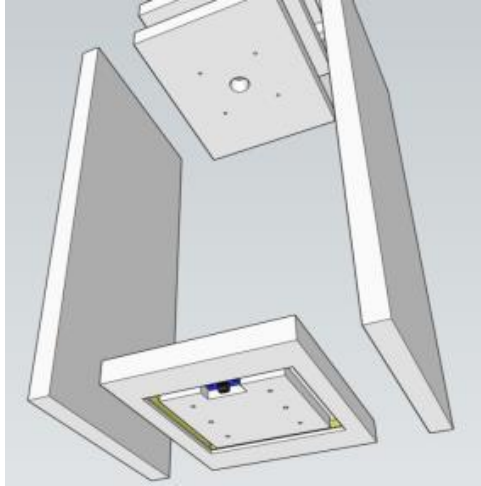
1 - BASE



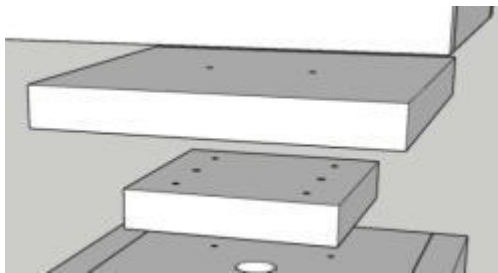
2 – UNIÓN BASE-CUERPO

WIREWOOD

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



3 – CUERPO



4 – UNIÓN CUERPO-PLATAFORMA SUPERIOR



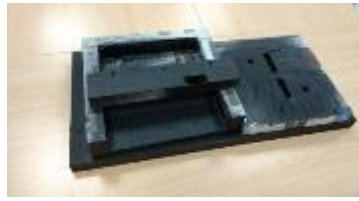
5 – CAJA EXPOSITORA

5.3 PINTADO DEL CIRCUITO.

Sobre las piezas ya cortadas se aplicó la pintura conductora, según el proceso industrial desarrollado en el paquete de trabajo PT5

WIREWOOD

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



Detalle de cómo quedan las piezas tras la aplicación de la pintura conductora



Piezas que conforman la base pintadas y montadas



Pieza de la base del cuerpo pintada

Pieza de la tapa del cuerpo pintada



Laterales del cuerpo pintados

Detalle de unión del lateral con tapa



Detalle de la base

Vista general mueble pintado

5.4 ACABADO FINAL.

Una vez pintado y seco el circuito se procedió al acabado final del producto mediante operaciones de barnizado con laca blanca.

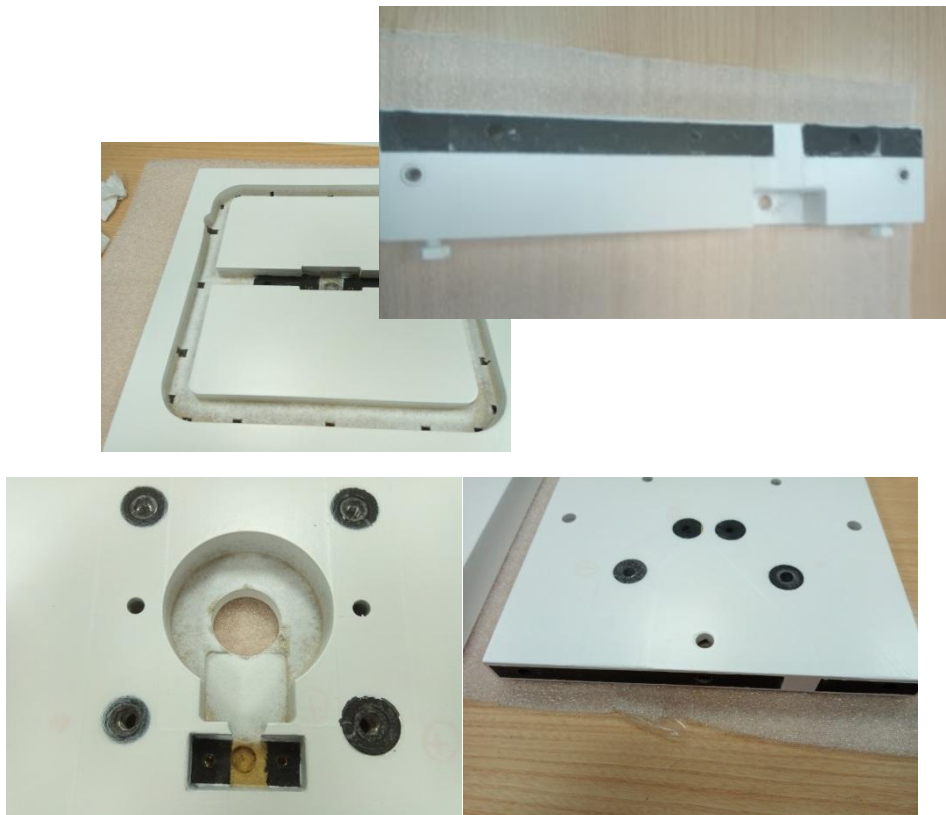
WIREWOOD

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



Figura 41. Piezas barnizadas.
Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se muestra el resultado de detalle del proceso de acabado en algunas de las piezas.



WIREWOOD

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

Figura 42. Detalle de puntos de conexión.

Fuente: Elaboración propia.

WIREWOOD

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

5.5 ENSAMBLAJE FINAL Y CONEXIÓN DE COMPONENTES.

Tras el proceso de acabado se llevó a cabo el ensamblaje final del mueble, uniendo las piezas que daban continuidad al circuito eléctrico, y finalmente se instalaron las placas PCB para conectar los diferentes puntos de luz.



Figura 43. Ensamblaje del mueble y componentes.
Fuente: Elaboración propia.

WIREWOOD

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

RESUMEN. CONCLUSIONES.

Se han identificado diferentes tipos de problemáticas potenciales a la hora de utilizar la pintura conductora de la electricidad para generar un circuito en un producto de mobiliario, relacionados con las siguientes categorías:

- ✓ Conductividad
- ✓ Acabado
- ✓ Unión entre piezas
- ✓ Unión entre módulos
- ✓ Conexión pintura- electrónica

En cuanto a la conductividad, el método de aplicación por pistola aerográfica se ha mostrado el más adecuado. Además, se ha comprobado cómo es posible estimar la resistencia eléctrica del circuito en función de la longitud, ancho de pista y gramaje que se decida aplicar al mismo.

Por otro lado, la continuidad del circuito entre piezas se garantiza mediante la utilización de herrajes metálicos o mediante el contacto entre piezas garantizando una presión mínima. Es importante que no exista holgura entre piezas para garantizar dicha continuidad.

Además, los procesos de acabado habituales (chapado o barnizado) no afectan al circuito pintado, tanto en caras como en cantos de una pieza.

Respecto del acabado final, ajustando los gramajes de pintura conductora y de barniz de acabado es posible alcanzar un acabado adecuado. Para evitar problemas de resalte de la pintura conductora se recomienda hacer pasar el circuito por los cantos de las piezas.

Se ha diseñado un sistema de conexión de componentes exclusivo para el proyecto, que permitirá unir el circuito pintado en una pieza plana con cualquier componente electrónico.

Con el desarrollo del prototipo se ha verificado la viabilidad de fabricar un producto de mobiliario que incorpore componentes electrónicos conectados sin cables, solo con el uso de pintura conductora de la electricidad.

Los retos o problemas de fabricación del proceso de fabricación identificados en el paquete de trabajo 5 han sido testados y resueltos de forma satisfactoria.

Se ha validado que el problema a resolver con el presente proyecto es relevante para el sector, y que el prototipo desarrollado cubre las funcionalidades mínimas deseadas para lograr el efecto demostrativo.

A nivel estético, las posibilidades que se abren con el uso de la pintura conductora, mejoran respecto del uso de cableado.

Además, se ha comprobado como las operaciones de instalación y conexión de componentes eléctricos en el mueble se simplifican de forma notable.

WIREWOOD

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

Los mecanizados para ocultar cableado se eliminan, aunque evidentemente no es posible deshacerse de los mecanizados para ocultar o integrar estéticamente los componentes eléctricos.

Cuando se trabaja con iluminación, hay que trabajar el diseño del circuito (voltaje de alimentación, gramaje, ancho de pista, consumo de luces,...) para garantizar una luminosidad adecuada a los objetivos del producto.

De forma general, se considera que el proceso mediante el cual se ha fabricado el prototipo del proyecto puede ser adaptado a la casuística de cualquier empresa del sector, tras un análisis de sus procesos de fabricación y del tipo de producto a fabricar.