

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA
INGENIERÍA MECÁNICA**

**Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de INGENIERO
MECÁNICO.**

**TEMA
ANÁLISIS DEL PROCESO DE SECADO DE PINTURA APLICADA EN
JUEGOS INFANTILES PARA LA OPTIMIZACIÓN DE TIEMPOS.**

**AUTORES
LASCANO AGUILAR CARLOS JAVIER
GARZÓN TUPIZA NATHALY ELIZABETH**

**DOCENTE TUTOR
ING. LUIS CHRISTIAN JUIÑA Q. M.Sc.**

Quito, junio de 2017

CARTA DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTORÍA

Nosotros, GARZÓN TUPIZA NATHALY ELIZABETH con documento de identificación N° 172176858-6 y LASCANO AGUILAR CARLOS JAVIER con documento de identificación N° 171983022-4, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Trabajo de Titulación: "ANÁLISIS DEL PROCESO DE SECADO DE PINTURA APLICADA EN JUEGOS INFANTILES PARA LA OPTIMIZACIÓN DE TIEMPOS", mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de INGENIERO MECÁNICO, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento en que hacemos entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Lascano Aguilar Carlos Javier
C.I.: 171983022-4



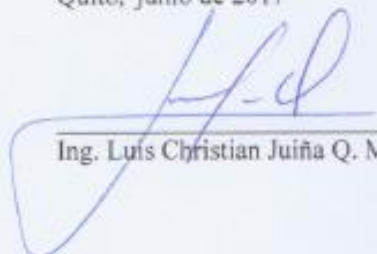
Garzón Tupiza Nathaly Elizabeth
C.I.: 172176858-6

Fecha: junio de 2017

CARTA DE DECLARACIÓN DE COAUTORÍA

Yo, declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Trabajo de Titulación intitulado: ANÁLISIS DEL PROCESO DE SECADO DE PINTURA APLICADA EN JUEGOS INFANTILES PARA LA OPTIMIZACIÓN DE TIEMPOS, realizado por GARZÓN TUPIZA NATHALY ELIZABETH y LASCANO AGUILAR CARLOS JAVIER, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como Trabajo Final de Titulación.

Quito, junio de 2017



Ing. Luis Christian Juiña Q. M.Sc.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARTA DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTORÍA.....	ii
CARTA DE DECLARACIÓN DE COAUTORÍA	iii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FÓRMULAS	ix
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.....	4
LA EMPRESA	4
1.1 Empresa <i>El Mundo de los juegos</i>	4
1.2 Datos generales de la empresa	5
1.3 Antecedentes	5
1.4 Productos.....	6
1.4.1.1 Instalaciones de la planta	7
1.5 Proceso de producción de una resbaladera.....	8
1.5.1 Recibir el material (tubos y planchas de acero A 36)	10
1.5.2 Corte y doblado de las piezas de acero	10
1.5.3 Unir piezas de acero para estructurar la resbaladera.....	12
1.5.4 Esmerillar las monturas de suelda.....	12
1.5.5 Masillar, pulir y lijar la estructura de acero	13
1.5.6 Proceso de pintado de la resbaladera	14
1.5.7 Secado de pintura de la resbaladera	19
1.6 Diagnóstico del problema	22
CAPÍTULO II	24
MARCO TEÓRICO.....	24
2.1 Pintura y recubrimientos industriales.....	24
2.2 Proceso de secado	25
2.2.1 Hornos de secado	27
2.2.1.1 Hornos por convección	27
2.2.1.2 Hornos por radiación	28
2.2.2 Pintura como determinante del método de secado.....	29
2.2.3 Transferencia de calor.....	32

2.2.4	Mecanismos de transferencia de calor	35
2.2.4.1	Conducción	35
2.2.4.2	Convección	37
2.2.4.3	Radiación	38
2.3	Optimización de tiempos en secado de pintura industrial.....	40
2.4	Control de calidad	41
2.5	Matriz de decisión sobre el horno para secado	44
CAPÍTULO III		49
METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....		49
3.1	Diseño de recopilación de datos.....	49
3.1.1	Método, tipo y enfoque de investigación	50
3.1.2	Detalle de pruebas en el proceso de secado de placas	51
3.1.3	Datos generales del estudio.....	51
3.2	Horno por convección.....	53
3.2.1	Descripción técnica	53
3.2.1.1	Estructura del horno.....	53
3.2.2	Características del horno	54
3.2.2.1	Información de las placas a secar	56
3.2.2.2	Cálculos	57
3.2.2.3	Velocidad de calentamiento.....	58
3.2.2.4	Consumo de energía eléctrica.....	59
3.2.2.5	Temperatura del horno y flujo de calor	59
3.2.2.6	Zona convección	59
3.3	Resultados del secado de placas en diferentes temperaturas	64
3.3.1	Observación cualitativa del estado de la pintura.....	64
3.3.2	Calificación de la dureza.....	65
3.3.3	Medición de la variación en brillo, saturación y tono.....	67
3.3.4	Variación en brillo.....	68
3.3.5	Saturación.....	70
3.3.6	Variación en matiz	71
3.3.6.1	Comparación del espesor final de la capa de pintura.....	74
Conclusiones		76
Recomendaciones.....		77
Lista de referencias		78

Anexos82

Anexo 1: Flujogramas del proceso.....82

Anexo 2: Fotografías de la toma de mediciones87

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1. Instalaciones de la empresa “Mundo de los Juegos”	4
Figura N° 2. Instalaciones de la planta	7
Figura N° 3. Resbaladera	8
Figura N° 4. Proceso de recepción del acero (material) para una resbaladera.....	10
Figura N° 5. Proceso de cortado y doblado de las piezas de acero para una resbaladera.....	11
Figura N° 6. Sierra, entenalla y trozadora para el proceso de armado de una resbaladera.....	11
Figura N° 7. Proceso de unión de piezas de acero para estructurar la resbaladera	12
Figura N° 8. Proceso de esmerillado de las monturas de suelda de la resbaladera.....	13
Figura N° 9. Esmerillado y resultado del esmerilado de la resbaladera	13
Figura N° 10. Proceso de masillado y lijado de la resbaladera.....	14
Figura N° 11. Pulido y masillado de la resbaladera.....	14
Figura N° 12. Proceso de pintado y secado de la resbaladera.....	16
Figura N° 13. Aplicación de desengrasante y limpieza del polvillo blanco de la resbaladera.	17
Figura N° 14. Fondo Uniprimer, esmalte sintético y pintado final de la resbaladera	17
Figura N° 15. Subproceso de secado de la resbaladera.....	21
Figura N° 16. Resbaladera en secado al aire libre.	22
Figura N° 17. Diagrama de Pareto, comparación de tiempos del proceso de la resbaladera.....	23
Figura N° 18. Horno por radiación	28
Figura N° 19. Funcionamiento del calentamiento por radiación.	30
Figura N° 20. Funcionamiento del calentamiento por convección.	31
Figura N° 21. Peine para medición de espesor en película húmeda	42
Figura N° 22. Diagrama de flujo del proceso de experimentación.....	49
Figura N° 23. Horno prototipo.....	54
Figura N° 24. Dureza de la pintura por temperatura y tiempo de horneado	66
Figura N° 25. Dureza de la pintura horneada y ambiente.....	67
Figura N° 26. Variación en brillo.....	69
Figura N° 27. Variación en la saturación.....	71
Figura N° 28. Círculo cromático en Photoshop	72
Figura N° 29. Variación en el matiz	73
Figura N° 30. Espesor final de las placas.....	74
Figura N° 31. Espesor vs. Temperatura	75
Figura N° 33. Proceso de producción de una resbaladera.....	82

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1. Especificaciones de la maquinaria.....	8
Tabla N°2. Cursograma analítico del proceso de producción de una resbaladera	9
Tabla N° 3. Características de los insumos utilizados en el proceso de pintura de la resbaladera	19
Tabla N° 4. Conductividad térmica de diversos materiales	36
Tabla N° 5. Matriz de decisión – construcción del horno.....	46
Tabla N° 6. Matriz de decisión – consumo del horno.....	47
Tabla N° 7. Matriz de decisión – costo del horno.....	48
Tabla N° 8. Datos generales del estudio	52
Tabla N° 9. Temperatura a la que se colocaron las placas en el horno.....	52
Tabla N° 10. Dimensiones internas del horno	55
Tabla N° 11. Dimensiones de la puerta de acceso	55
Tabla N° 12. Dimensiones de los elementos a secar.....	58
Tabla N° 13. Observación cualitativa del estado de la pintura	64
Tabla N° 14. Dureza según grafitos utilizados	65
Tabla N° 15. Dureza de la pintura por temperatura y tiempo de horneado	65
Tabla N° 16. Escala de brillo	68
Tabla N° 17. Variación en brillo.....	68
Tabla N° 18. Escala de saturación	70
Tabla N° 19. Variación en saturación	70
Tabla N° 20. Escala para medir variación en matiz.....	72
Tabla N° 21. Variación en el matiz.....	72
Tabla N° 22. Cursograma analítico del proceso de recepción de material	82
Tabla N° 23. Cursograma analítico del proceso de corte y doblado.....	83
Tabla N° 24. Cursograma analítico del proceso de unión de piezas.....	83
Tabla N° 25. Cursograma analítico del proceso de esmerillado	84
Tabla N° 26. Cursograma analítico del proceso de masillado, pulido y lijado.....	84
Tabla N° 27. Cursograma analítico del proceso de pintado y secado de la resbaladera ..	85
Tabla N° 28. Cursograma del subproceso de secado de a resbaladera	85

ÍNDICE DE FÓRMULAS

Fórmula 1. Transferencia de calor [10].....	33
Fórmula 2. Tasa de transferencia de calor con variación en tasa de transferencia de calor [10]	34
Fórmula 3. Tasa de transferencia de calor con tasa de transferencia de calor constante [10]	34
Fórmula 4. Tasa de conducción de calor [10]	35
Fórmula 5. Tasa de transferencia de calor por convección [10]	37
Fórmula 6. Fórmula de radiación	39
Fórmula 7. Masa [20]	56
Fórmula 8. Densidad [20]	57
Fórmula 9. Flujo de calor [22]	57
Fórmula 10. Consumo de energía eléctrica.....	59
Fórmula 11. Flujo de calor por convección	60
Fórmula 12. Conducción de calor transitorio.....	61
Fórmula 13. Longitud característica	61
Fórmula 14. Número de Biot	62
Fórmula 15. Ecuación de estado transitorio [14]	63

RESUMEN

El presente estudio tuvo por objetivo analizar el proceso de secado de pintura aplicada en juegos infantiles para la optimización de los tiempos de curado en la empresa “El Mundo de los Juegos”, para lo cual se realizó un estudio experimental con enfoque cualitativo, se aplicó el método analítico sintético, investigación bibliográfica y documental. El estudio consistió en la realización de pruebas de secado de placas pintadas a diferentes temperaturas (80°C, 100°C, 120°C y 140°C), se empleó un horno prototipo por convección a electricidad. Se evaluó la dureza, el brillo, la saturación y el tono del color y el espesor de la capa de pintura, a los 15, 30, 45 y 60 minutos de horneado. El proceso actual de secado tarda cerca de 18 horas y se obtiene una dureza de 6 sobre un máximo de 10, mientras que los experimentos mostraron que el curado al horno alcanzó una dureza de la pintura de grado 9 en 60 minutos. Entre las temperaturas experimentadas, el proceso de curado a 120 °C y 140 °C alteró la saturación y el matiz de la pintura. El secado a 100 °C permitió alcanzar una dureza de grado 9 a los 60 minutos, sin alteración de matiz ni brillo. El espesor de la capa de pintura, es menor mientras más elevada es la temperatura, asemejándose a la siguiente ecuación: $y = 0,0003x^2 - 0,0787x + 9,602$ donde “y” es el espesor en micras y “x” es la temperatura en °C.

PALABRAS CLAVES: TIEMPOS DE SECADO, HORNO ELÉCTRICO, ESPESOR Y DUREZA DE PINTURA.

ABSTRACT

The following study analyze the process of drying of paint applied of children`s games in the enterprise "El Mundo de los Juegos" due to experimental proceedings. Analytic process, bibliographic research and documentary research was used in order to achieve the aims. The study was based on drying test using different temperatures (80°C, 100°C, 120°C and 140°C). A prototype oven was used for the test. The brightness, the situation and the color tone at 15, 30, 45 and 60 minutes of baking were analyzed. Drying takes about 18 hours between the tasted temperatures. The process of 120 °C and 140 ° C changed the saturation and contrast of the paint. The process of drying at 100 °C allowed the test to reach a 9m grade of hardness, when it baked at 60 minutes, without changing the color or contrast. The thickness of the paint layer was lower and elevated to a higher the temperature. The thickness was evaluated by the equation: $y = 0.0003x^2 - 0.0787x + 9.602$ where "y" is the thickness in microns and "x" is the temperature in °C.

KEYWORDS: DRYING TIMES, ELECTRIC OVEN, THICKNESS AND PAINT HARDNESS.

INTRODUCCIÓN

Los procesos industriales conllevan múltiples variables que tienen un impacto directo en su productividad y calidad, sin embargo, muchas veces los procesos se realizan de forma empírica y descuidan aspectos técnicos que, a la larga, afectan el acabado final e inclusive la eficiencia de las operaciones con relación al tiempo del proceso.

Este es el caso de la Empresa *El Mundo de los Juegos*, ubicada en el Cantón Quito, Parroquia Conocoto, Barrio Los Pinos, encargada de la elaboración de juegos infantiles. En la empresa se ha podido observar un problema común en el proceso de producción, específicamente, en el tiempo destinado a la etapa de secado de pintura, realizada actualmente al aire libre. Los juegos ya pintados son entregados a los clientes en el menor tiempo posible, por lo que la pintura alcanza únicamente un secado superficial, mostrándose débil ante cualquier abrasión y por ende, afectan la calidad del producto entregado al acelerarse el tiempo de desgaste del recubrimiento.

El interés de este estudio es realizar un análisis al proceso de secado actual, confrontado con un método de secado al horno. Mediante los resultados alcanzados, se pretende establecer condiciones operativas óptimas, esencialmente, en la disminución del tiempo de secado, de esta manera obtener un producto con los estándares de calidad más exigentes de los usuarios y compradores.

Por tanto, es necesario identificar los problemas del diseño, de operación misma de las unidades y del mantenimiento que afectan la calidad del producto, no solamente desde el punto de vista de disminución de los tiempos de secado sino de la disminución de la generación de contaminantes; es importante, además, determinar los costos de insumos

para el desarrollo de esta actividad, para de esta manera identificar alternativas de optimización y asegurar con ello la calidad del producto y salubridad de los operadores que trabajan en la elaboración de juegos infantiles.

La importancia del estudio radica en poder establecer un precedente investigativo que permita evidenciar las ventajas de contar con un método de secado por horno en las etapas de pintura para los procesos industriales, pero también realizar una comparativa entre el costo/beneficio y en la calidad del producto final.

Por otra parte, es necesario definir recursos, procesos y programas que sirvan como herramientas para alcanzar el objetivo primordial de disminuir el tiempo de secado de productos y mejorar su acabado. Es, además, un objetivo estratégico de la Gerencia de *Mundo de los Juegos* orientado a la satisfacción de los clientes. Es importante determinar el costo – beneficio que conllevará la optimización de este sistema de secado, como referencia para la toma de decisiones.

- **Objetivo General:**

Analizar el proceso de secado de pintura aplicada en juegos infantiles para la optimización de tiempos de secado en la empresa “El Mundo de los Juegos”.

- **Objetivos específicos:**

- a. Determinar los procesos de pintura y secado que se desarrollan para la elaboración de juegos infantiles.
- b. Establecer los tiempos promedio de secado al aire libre de juegos infantiles y la resistencia del recubrimiento lograda.
- c. Establecer los tiempos de secado y resistencia del recubrimiento lograda al aplicar un secado al horno.
- d. Analizar las mejores alternativas para la etapa de secado para la Empresa *El Mundo de los juegos*, a implementarse según su costo/beneficio y calidad final.

CAPÍTULO I

LA EMPRESA

1.1 Empresa *El Mundo de los juegos*

-Localización: Autopista General Rumiñahui, vía Sangolquí Km. 7 ½ (entre el puente 4 y 5), Barrio los Pinos, lote 1. La Figura N° 1 muestra las instalaciones de la Empresa.



Figura N° 1. Instalaciones de la Empresa “Mundo de los Juegos”

-Misión: ofrecer servicios de elaboración de juegos y parques infantiles metálicos para exterior, regidos por normas de elaboración y seguridad, proporcionando una experiencia máxima de diversión a niños de 3 a 12 años y de calidad a los clientes.

-Visión: convertirse en el principal proveedor de juegos y parques infantiles para exterior para municipios, administraciones zonales y clientes privados en toda la ciudad de Quito.

1.2 Datos generales de la empresa

- a) Inicio de operaciones: año 2008.
- b) Número de trabajadores: 8 personas.
- c) Productos:
- d) Juegos infantiles: resbaladeras, columpios, sube y bajas, escaleras chinas, carruseles, etc.
 - Equipos deportivos: arcos de futbol, tableros de básquet, postes para ecuaboley, postes de tenis, etc.
 - Máquinas de ejercicio al aire libre: elípticas, remos, ponis, dorsales, pectorales, abdominales, etc.
- e) Producción mensual aproximada:
 - 50 juegos infantiles.
 - 20 equipos deportivos.
 - 7 máquinas de ejercicio al aire libre.
- f) Material utilizado:
 - Acero al carbono ASTM A36.

1.3 Antecedentes

La Empresa *Mundo de los Juegos* se creó hace ocho años como una iniciativa destinada a satisfacer la necesidad de los parques y áreas recreativas de cualquier edificación, contarán con juegos infantiles resistentes, divertidos para los niños y seguros.

Con el paso del tiempo la empresa se convirtió en proveedora de diversas entidades y personas naturales, al realizar diseños diversos; sin embargo, uno de los problemas que

se ha observado, con frecuencia, es el tiempo que consume el secado de la pintura frente al resto del proceso de producción. Es común que la elaboración de los juegos se solicite con poco tiempo de anterioridad; pero, el secado de la pintura se demora, aunque a las pocas horas, aparentemente, el producto está seco, las capas de pintura inferiores suelen pasar varios días e inclusive semanas más en lograr un secado total, por lo que el juego infantil está expuesto a que, ante cualquier impacto la resistencia de la pintura sea débil, lo que afecta a la larga la calidad del resultado final.

Existen varios inconvenientes por los cuales la empresa no destina demasiado tiempo al proceso de secado; por un lado el requerimiento del cliente para contar con el producto solicitado en el menor tiempo posible, puesto que si este período se alarga, la empresa pierde mercado ante los competidores; por otro, el interés de la empresa de ofrecer la máxima calidad y por último, la necesidad de optimizar el espacio, puesto que si el tiempo de secado se extiende, se tendría un número mucho mayor de juegos infantiles secándose al mismo tiempo, se reduce el área disponible para otras operaciones como corte, armado, soldado, entre otros.

1.4 Productos

Los productos que actualmente elabora la empresa *El Mundo de los Juegos* comprenden a toda clase de juegos y parques infantiles elaborados en metal ya sea con juegos tradicionales y otros diseños realizados a pedido del cliente. Entre las alternativas de elaboración se tienen: columpios, resbaladeras, sube y baja, túneles, casitas, escalera china y muchas otras opciones, varias de estas combinadas en una sola estructura.

La producción es variable, pero en promedio la empresa elabora al mes 50 juegos infantiles, 20 equipos deportivos y 7 máquinas de ejercicio al aire libre; mientras que anualmente se elevaría a cerca de 600 juegos infantiles, 240 equipos deportivos y 80 máquinas de ejercicio.

1.4.1.1 Instalaciones de la planta

Las instalaciones de la empresa se distribuyen de la siguiente manera en un área de 2500 metros cuadrados como muestra la Figura N° 2:

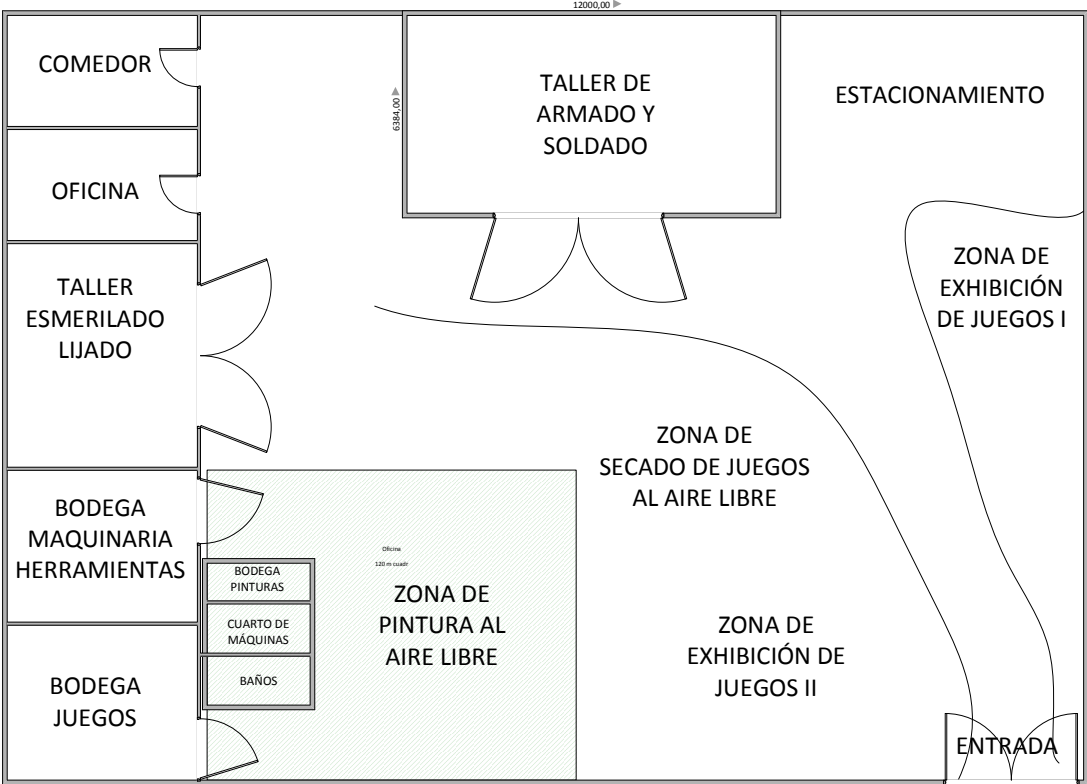






Figura N° 2. Instalaciones de la planta

Como recursos técnicos para la elaboración de los juegos se mencionan los expuestos en la Tabla N° 1:

Tabla N° 1. Especificaciones de la maquinaria

Máquina	Fotografía	Detalles técnicos
Esmeriladora		Esmeriladora Angular DWE4020-B3 4 1/2" (115mm) 12000/min (RPM) 800 W
Broquetero		Broquetero sin llave de 15.8 mm, 5/8" 12 velocidades 1 ½ Hp 119W
Soldadora		AC-225 ARC Welder Lincoln electric 40-225 Amperios
Cortadora		D28715 14" Type 2 50/60 Hz 4000/min (RPM)

1.5 Proceso de producción de una resbaladera

El producto a elaborar se muestra en la Figura N° 3, siendo una resbaladera en acero.



Figura N° 3. Resbaladera

El proceso de producción de una resbaladera sigue los pasos mostrados en la **Tabla N°2**. En cada etapa se exponen los tiempos a partir de la elaboración de una resbaladera. Hay que considerar que, debido a la variabilidad en los productos, el tiempo es ligeramente mayor o menor en la producción de otros juegos infantiles.

Tabla N°2. Cursograma analítico del proceso de producción de una resbaladera

Proceso:		Resumen	
Proceso general de producción de una resbaladera		Operación:	● 4
		Transporte:	➡ 0
		Espera:	◐ 1
		Inspección:	▣ 1
		Almacenamiento:	▼ 1
Operarios:	2	TOTAL	7

Descripción	Cant.	Distancia	Tiempo	Símbolo					Observaciones	
				●	◐	➡	▣	▼		
Recepción de tubos y placas de acero		5 metros	20 min							
Corte y doblado de piezas de acero		0 metros	60 min	●						Uso de sierra, entenalla y trozadora
Unir piezas de la resbaladera		0 metros	40 min	●						Combo, suelda eléctrica
Esmerilar soldaduras		1 metro	35 min	●						Esmeriladora
Masillar, pulir y lijar superficie de las piezas		0 metros	85 min	●						Lijadora eléctrica
Pintar piezas de acero		5 metros	108 min	●						Soplete a presión, compresor eléctrico
Secado de la pintura		10 metros	19 h							
Control de calidad de la pintura		0 metros	10 min							
TOTAL			25 h							

1.5.1 Recibir el material (tubos y planchas de acero A 36)

La primera etapa del proceso de recepción es el desembarque del material, el cual se realiza por cuatro trabajadores. Generalmente, el material recibido lo componen tubos, planchas y varillas metálicas en acero A36; también pintura y productos químicos y otros insumos como pernos, cadenas, clavos, entre otros. La descripción del proceso se encuentra en la Figura N° 4 y tarda un total de 20 minutos en realizarse. El material es almacenado en las bodegas donde es clasificado en estanterías, cajones y anaqueles. En este punto cabe señalar que la pintura se almacena en estanterías en un entorno a temperatura ambiente, sin estar expuestas al sol o a altas temperaturas que puedan afectar su composición y rendimiento.



Figura N° 4. Proceso de recepción del acero (material) para una resbaladera

1.5.2 Corte y doblado de las piezas de acero

El proceso de cortado y doblado de los tubos de acero se realiza de forma posterior al estudio del diseño a realizarse y se describe en la figura N° 5 con un tiempo total de 60 minutos. En el diseño se establecen las piezas necesarias y, por tanto, se definen las

medidas, ángulos y ensamblajes necesarios que guiarán los cortes y dobleces de las piezas de acero. El manejo de los materiales es realizado tratando que las piezas no se maltraten, para lo cual se utilizan entenalla para sujetarlas y pallets de madera para su colocación.

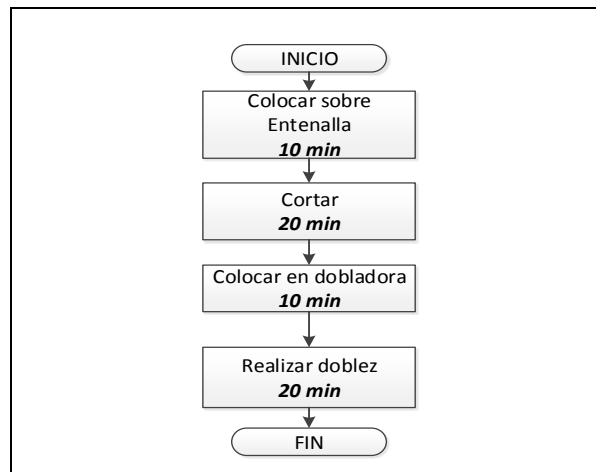


Figura N° 5. Proceso de cortado y doblado de las piezas de acero para una resbaladera

El cortado se realiza mediante el uso de sierras manuales o de trozadoras eléctricas como indica la Figura N° 6.



Figura N° 6. Sierra, entenalla y trozadora para el proceso de armado de una resbaladera

1.5.3 Unir piezas de acero para estructurar la resbaladera

Como muestra la Figura N° 7 abarca el estrechamiento y la soldadura de piezas con un tiempo de 40 minutos. La unión de las piezas se la realiza al preparar el material y atachar las partes de las piezas que sean necesarias con un combo de cabeza de acero de 5kg. Se utiliza una suelda eléctrica para la unión de las piezas, por tanto, las áreas de la unión son tratadas para no afectar el proceso de pintura.

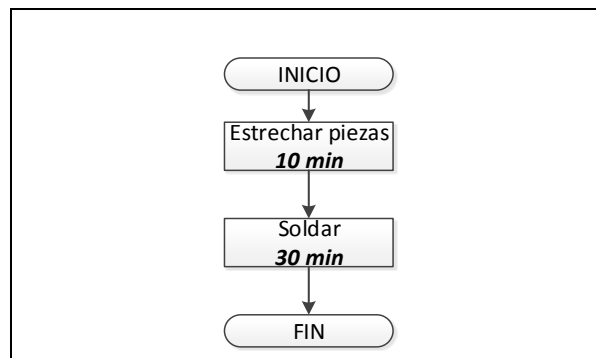


Figura N° 7. Proceso de unión de piezas de acero para estructurar la resbaladera

1.5.4 Esmerillar las monturas de suelda

En el proceso de esmerilado de las monturas de suelda, descrito en la Figura N° 8 toma un total de 35 minutos, se rebajan las monturas de suelda con el esmeril a fin de lograr que estas zonas queden lisas, para lo cual se coloca la estructura en soportes adecuados. En la Figura N° 9 se muestra el resultado del esmerilado.



Figura N° 8. Proceso de esmerillado de las monturas de suelda de la resbaladera



Figura N° 9. Esmerillado y resultado del esmerillado de la resbaladera

1.5.5 Masillar, pulir y lijar la estructura de acero

Como señala la Figura N° 10, en este proceso se prepara la pieza para el proceso posterior de pintura, para lo cual se utiliza masilla “Mustang Masilla Plástica” para remendar cualquier falla, y dura un total de 85 minutos.



Figura N° 10. Proceso de masillado y lijado de la resbaladera

Antes de aplicar la masilla se procede a pulir la pieza con lo que se logra retirar cualquier impureza, como se observa en la Figura N° 11:



Figura N° 11. Pulido y masillado de la resbaladera

El proceso de secado de la preparación dura cerca de 20 minutos, luego se procede a lijar los excedentes, en caso de ser necesario se recurre nuevamente al esmeril.

1.5.6 Proceso de pintado de la resbaladera

De forma detallada, como se presenta en la Figura N° 12, este proceso se inicia con la

ubicación de la estructura en la zona de descarga de pinturas y consiste en un espacio semicerrado que permita el pintado de las estructuras y una ventilación adecuada para el operario que realiza la labor de pintura. Se procede a limpiar el polvo e impurezas con waípe, posteriormente para con esto evitar que en este proceso queden atrapadas impurezas que posteriormente afectarían la calidad del acabado de la pintura. Posteriormente se aplica solución, el desengrasante fosfatizado desoxidante “Desoxidante 57-V”, con el cual se logra el desengrase de superficies ferrosas y se logra una protección antioxidante. El producto deja sobre la superficie una capa de fosfatos que protege el metal e incrementa la adherencia de la pintura. El proceso dura en total 108 minutos.

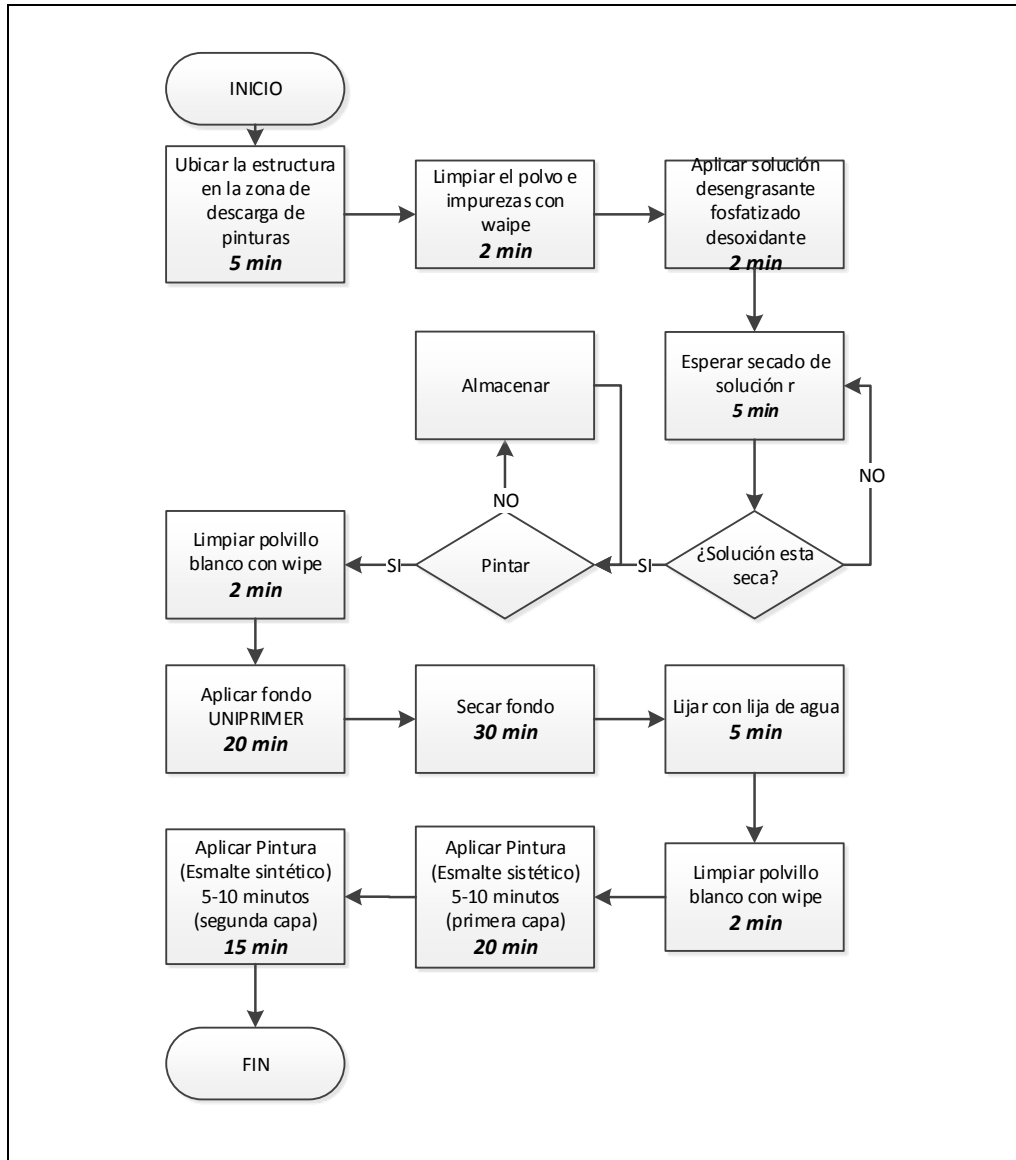


Figura N° 12. Proceso de pintado y secado de la resbaladera

Se debe esperar el secado de la solución por 5 minutos, el cual se comprueba cuando esta deja una leve capa de polvo blanco sobre el metal, en caso de no secarse se dejan pasar otros cinco minutos. Posteriormente, la estructura se almacena con la protección que provee el desengrasante, caso contrario, si se va a pintar inmediatamente se limpia la capa superficial de polvo blanco con un waipe como indica la Figura N° 13.



Figura N° 14. Aplicación de desengrasante y limpieza del polvillo blanco de la resbaladera.

Se procede a aplicar una primera capa de pintura de fondo UNIPRIMER, el cual se deja secar por un lapso de 30 minutos aproximadamente. Posteriormente se utiliza una lija de agua para preparar la estructura con la pintura definitiva y se limpia con waipe el polvillo resultante del lijado, como se muestra en la Figura N° 15.



Figura N° 15. Fondo Uniprimer, esmalte sintético y pintado final de la resbaladera

Paso seguido se prepara el esmalte sintético según las instrucciones del fabricante para su uso con soplete y se aplican dos capas de pintura con un lapso de tiempo de 10 minutos entre cada capa de pintura.

Después de aplicado el producto, la estructura pasa al subproceso de secado que se aborda más adelante. Continuamente se comprueba el secado de la estructura mediante

el acercamiento de un trozo pequeño de cartón a la pieza, si el cartón se pinta levemente, la estructura aún no termina de secarse, no obstante, esta comprobación solo implica que el secado superficial se ha alcanzado, sin poder verificar con exactitud si el secado de las capas posteriores ya está listo. Una vez que la estructura, aparentemente, está seca, se prepara el producto para su entrega envolviéndolo en plástico (papel film) para empacado.

El proceso descrito varía levemente en función de las piezas o materiales, por ejemplo, el uso de piezas sin pintar que solamente se protegen con antioxidante y se ensamblan posteriormente, o piezas de madera que van o no pintadas o solamente lacadas; sin embargo, en la mayoría de casos el proceso descrito es el que se realiza.

Uno de los problemas detectados es que el secado solo se comprueba superficialmente, por lo que la estimación del secado de las capas inferiores es difícil de realizar y el método de comprobación no puede realizarse sin dañar el acabado. Esto implica la necesidad primaria de conocer con precisión el tiempo de secado en las condiciones actuales.

Otro de los problemas graves detectados es que, al colocar el plástico que protege la estructura para su entrega al cliente se corre el riesgo que al levantar el mismo, parte de la capa superficial de la pintura se desprenda.

Hay que considerar también que se colocan entre dos a tres capas de pintura, con soplete a presión, según el color utilizado y la mezcla que se realiza de la pintura influye en su espesor (según el preparado este más líquido o más coagulado), lo que a la larga también provocará diferentes tiempos de secado.

Los insumos utilizados para el proceso de pintura se muestran en la **Tabla N° 3**:

Tabla N° 3. Características de los insumos utilizados en el proceso de pintura de la resbaladera

PINTURA	DESENGRASANTE	FONDO	MASILLA
<p>Marca: Atomix Wesco Tipo: esmalte Sintético Composición: resinas alquídicas y pigmentos Uso: acabado en superficies metálicas, madera y mampostería. Diluida con thinner (4 partes de pintura y 2 de thinner para uso con soplete). Aplicación: uso en temperaturas entre 5°C y 30°C, 2 a 3 manos de pintura de acuerdo con el color. Espesor de película seca: 35 a 50 micras. Tiempo de secado aproximado: 2 a 3 horas en capas de 25 micras y una temperatura constante de 25°C.</p>	<p>Marca: FRIOSIA Tipo: desengrasante de metales ferrosos Composición: ácidos Inorgánicos Inhibidos, Agentes de penetración.</p>	<p>Marca Uni Primer Plus Tipo: imprimación en base disolvente, con adherencia en diversos soportes y repintable. Secado: al tacto 15 minutos a 20° C y 60% humedad relativa media. Repintado: 12 horas a 20° C.</p>	<p>Marca: Mustang Masilla Plástica Composición: poliéster de alto desempeño Color: Gris Secado: para lijar 10-15 minutos a 30 ° C; 15-30 minutos a 20°C.</p>

1.5.7 Secado de pintura de la resbaladera

El proceso de secado no se ha definido de manera específica en la empresa, pues se maneja de forma empírica; sin embargo, se ha tomado en cuenta las conversaciones con el personal y la observación directa.

El proceso descrito en la Figura N° 16, se inicia al alistar las estructuras recién pintadas y al evaluar las condiciones del clima, pues si existe probabilidad de lluvia esto afectaría el secado de la estructura; por otro lado, un viento fuerte ayudará a aumentar la velocidad de secado pero también provocará que la pintura fresca se vea manchada con partículas o polvo. En caso que las condiciones del clima no sean óptimas la pieza pasa a

secarse a un espacio cubierto, caso contrario la estructura se mantendrá en espacio cerrado por cerca de 30 minutos para luego dejarse secar al aire libre por varias horas como se muestra en la Figura N° 17.

Se verifica luego de un tiempo si existen partículas o polvo alojado en la superficie en este caso la estructura, al secarse inicialmente en un ambiente cerrado, debería facilitarse la limpieza de dichas partículas posteriormente, sin afectar la pintura. Después de este período se realiza una prueba de secado superficial, esto mediante el acercamiento de un trozo de papel o cartón para constatar si el mismo se mancha de pintura, lo que indicaría que aún resta por secarse, sin embargo, este es uno de los principales problemas por la imposibilidad de determinar el grado de secado en las capas de pintura inferiores. El tiempo total del proceso tarda entre 13 y 25 horas aproximadamente (19 horas promedio).

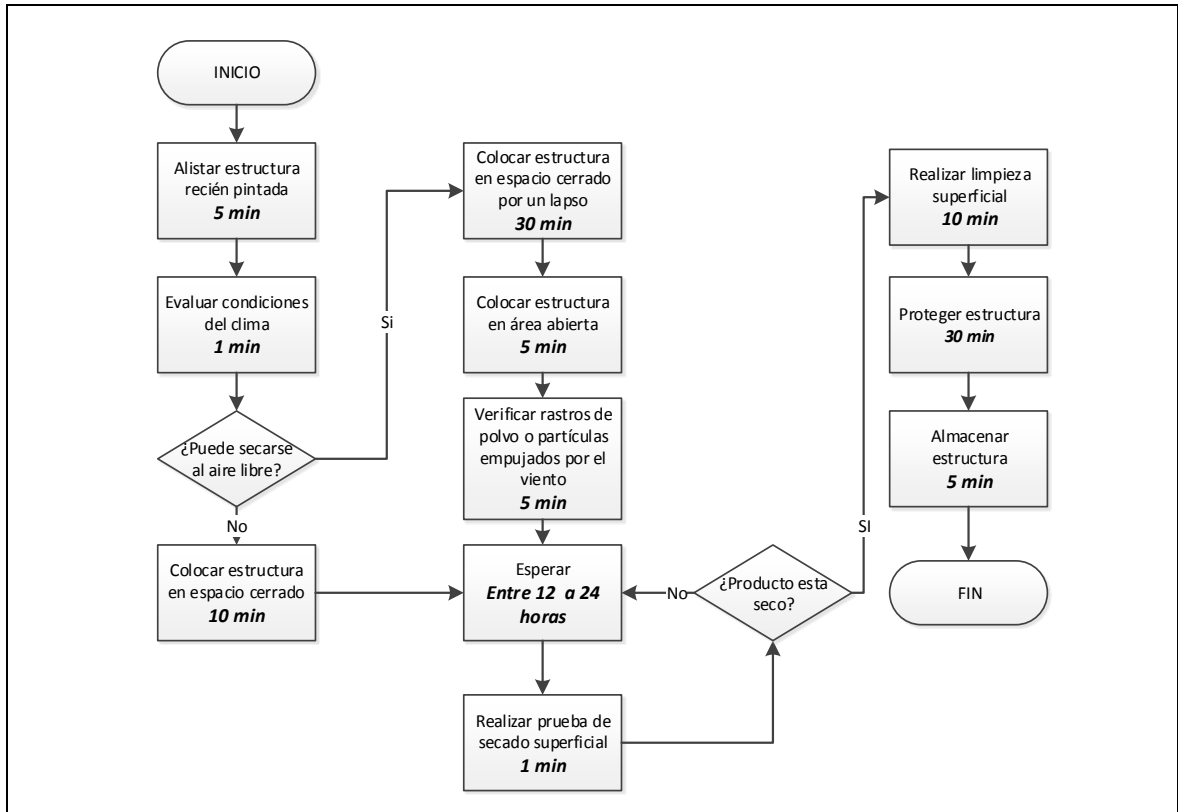


Figura N° 16. Subproceso de secado de la resbaladera

Al no existir conocimiento sobre el tiempo exacto de secado se realiza esta comprobación, eventualmente, hasta que se confirma que la estructura se ha secado y es limpiada superficialmente. Posteriormente, se protege la estructura con plástico y/o cartones envueltos, a fin de almacenarla y entregarla al cliente.



Figura N° 17. Resbaladera en secado al aire libre.

1.6 Diagnóstico del problema

La estructura se seca al aire libre a temperaturas, humedad y ventilación variable y depende de las condiciones del clima lo que impide tener control sobre el tiempo de secado y afecta la calidad del producto a entregarse cuando este es requerido con urgencia. En síntesis, el problema se sintetiza en:

- Dificultad para controlar el tiempo de secado, tiempos muy variables según el clima.
- Secado superficial provoca que la pieza metálica sea susceptible a verse afectada por rayones o golpes.
- Probabilidad de que la pintura se manche o se marque con mayor facilidad.
- Tiempo demasiado largo para el secado.

El secado superficial de la pintura es insuficiente para evitar que al momento de proteger la estructura con papel film para su entrega, se marque o se manche la pintura. Al no existir un secado completo la estructura está expuesta a que cualquier impacto afecte la integridad de la superficie. El proceso de elaboración requiere de un período de secado de la pintura de fondo y de un período de secado de las capas de pintura final, el cual no será muy extenso al afectar la productividad de la empresa.

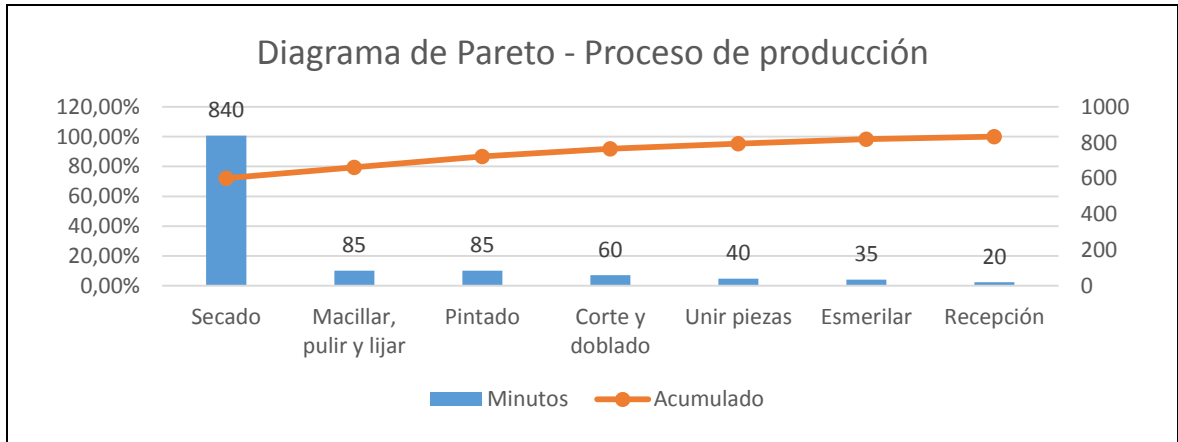


Figura N° 18. Diagrama de Pareto, comparación de tiempos del proceso de la resbaladera

Como se muestra en la Figura N° 18, en general el proceso de secado consume demasiado tiempo en comparación al resto de procesos (masillado, pintado, corte, unión de piezas, esmerilado y recepción de material). Al tomar en cuenta los tiempos mínimos registrados para las diversas etapas del proceso se tiene que la etapa de secado abarca casi el 80% del tiempo total destinado del proceso de producción.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

Para la realización del análisis del proceso de secado de pintura aplicada en juegos infantiles llevado a cabo por la empresa y con la finalidad de lograr una optimización de tiempos, es necesario abordar determinadas bases teóricas que permitan adquirir una comprensión mayor del fenómeno, a fin de poder plantear alternativas técnicas adecuadas, eficientes y rentables.

2.1 Pintura y recubrimientos industriales

Una variable importante a considerar en el estudio es la pintura como recubrimiento de los juegos infantiles, por tanto, su composición será un factor que afecte al tiempo de secado. Ante todo, debe comprenderse que la forma en que se preparan las piezas metálicas también tiene efectos en el secado, en los tiempos de evaporación de los solventes de la pintura y en su calidad final como protección para la pieza metálica.

Scheweigger [1] menciona que en la elaboración de pinturas intervienen, principalmente, tres componentes en agua más aditivos. Los componentes son los pigmentos y las cargas que constituyen el cuerpo de la pintura, mientras que el componente líquido “es el ligante plástico en forma de dispersión que tiene la función de aglomerar los componentes sólidos entre sí y de adherirlos al sustrato” (p. 27).

Las cargas son todos aquellos minerales que conforman la pintura, también conocidos como extendedores. Según Scheweigger [1, p. 27] “para poder definir la influencia técnica de la carga en los productos acabados es básico conocer su estructura

morfológica, la granulometría y su absorción de aceite”. El conjunto de esos elementos define la compactación de la pintura e incluye su resistencia una vez seca.

Los pigmentos son sustancias finas cristalinas cuyo uso está orientado a definir el tono de color del producto terminado. Los ligantes plásticos son polímeros en dispersión. Como recubrimiento exterior se tienen dispersiones de homopolímeros vinílicos, copolímeros vinílicos y los copolímeros acrílicos. Otro aspecto a destacar es que los juegos infantiles se colocan al exterior, por lo que deben poder contar con un recubrimiento que proteja los metales que los componen de la corrosión. Los componentes de mayor importancia en la formulación de pinturas anticorrosivas son los ligantes, destacan tres sistemas: resinas epoxídicas de dos componentes al agua, dispersiones acuosas de resinas alídicas y dispersiones acrílicas estirenadas aniónicas con promotores anticorrosivos.

Al aplicar fondos anticorrosivos al agua sobre hierro se observa un proceso de corrosión inmediato. Esto ocasiona un desarrollo de hidrógeno efervescente que queda atrapado en forma de burbujas en la capa del fondo y deja una corrosión oculta. Este último efecto se denomina *flush rust*. Para evitar esta corrosión espontánea que se presenta mientras el recubrimiento contiene el agua de aplicación, se incorporan inhibidores de corrosión. Los pigmentos anticorrosivos activos son los responsables de la prolongada protección contra el agua.

2.2 Proceso de secado

El proceso de secado se entiende, desde una postura técnica, como el conjunto de operaciones que tienen lugar para lograr “la eliminación de un líquido por conversión en

vapor, que se separa del sólido” [2, p. 1]. De modo que este secado se logra mediante la utilización de energía en forma de calor, sin embargo, existen casos especiales y menos frecuentes, en la industria química en la que se utilizan otras formas de energía para el secado, como “campos de radiofrecuencia, trabajo mecánico o reacciones químicas” [2, p. 1].

Para Rolfe [3, p. 467] los procesos de secado tienen una alta relevancia en la tecnología y el diseño, por tanto que permiten la eliminación, no solo de agua, sino de otros tipos de líquidos de cualquier tipo de sistema.

Por su parte Hopp [4] hace hincapié en la diferencia de los procesos de secado según el tipo de material y señala que existen, por ejemplo, el secado por vía térmica para materias sólidas, que abarca “no sólo la eliminación total del agua, sino también a veces la completa eliminación de restos de disolventes” (p. 405), el secado de líquidos por medios químicos y el secado de gases realizado mediante un líquido o materias secantes que retienen o absorben la humedad, como la gel de sílice.

El proceso de secado de pintura para juegos infantiles implica la eliminación de agua y disolventes de la capa de pintura que recubre a los productos, tratándose de un secado de materia sólida y por ende, realizándose principalmente por vía térmica.

Para Nonhebel & Moss [2] el proceso de secado en sólidos se logra, principalmente, por convección o conducción y es la radiación un efecto secundario adicional de los secadores mencionados, no obstante existen métodos de secado exclusivamente por radiación como los hornos con sistema de infrarrojo.

Actualmente, la Empresa *El Mundo de los Juegos* realiza un secado de las piezas recién pintadas al aire libre, lo que provoca solamente un secado superficial, razón por la cual se pretende la experimentación de tiempos de secado con el uso de hornos de curado, es decir, mediante un secado por convección.

2.2.1 Hornos de secado

En la industria existen múltiples mecanismos o aparatos para el secado de acuerdo con Hopp [4, pp. 405-408] tales como las cámaras de secado por circulación de aire, secadores de cinta, de placas, al vacío, entre otros; sin embargo para el estudio se analizarán únicamente a los hornos de secado, al ser los medios más factibles para el secado de pintura de piezas de gran tamaño. Una clasificación general de los hornos de secado sería la que los divide en hornos por convección y hornos por radiación.

2.2.1.1 Hornos por convección

En el horno por convección se eleva la temperatura interna del recinto donde se coloca el elemento a secar, para lo cual se utiliza, según Escobar [5, p. 30] quemadores a gas o resistencias eléctricas, a más de sistemas de ventilación y circulación del aire, lo que facilita lograr una convección forzada. En la convección forzada se utilizan mecanismos como ventiladores o bombas para generar flujos turbulentos dentro del recinto, a fin de lograr que el aire caliente tenga dos funciones, la de transferencia de calor y la de eliminación del vapor de la superficie a calentarse

Para Portalanza [6, p. 16] los hornos por convección a gas utilizan quemadores para lograr la combustión y provoca una flama que calienta el aire en el recinto de secado. En este tipo de horno el calor es generado desde la dirección en la que se encuentra el

quemador, por lo que es necesario utilizar quemadores en barra, o un sistema de circulación para lograr la convección forzada, este último es más efectivo al permitir una distribución mucho más uniforme del calor dentro del cuarto de curado.

En cuanto al horno con sistema eléctrico, se trata de un horno con un sistema similar al del horno por quemador, sin embargo la fuente generadora es la resistencia eléctrica u otros elementos resistivos que rodean las paredes del cuarto de secado según Portalanza [6, p. 14]. De forma que el área de generación de calor es mayor, no obstante, la utilización de sistemas de recirculación de aire para la convección forzada también es necesaria para una mayor uniformidad en la temperatura.

2.2.1.2 Hornos por radiación

El horno por radiación funciona de manera muy diferente al horno por convección, pues en este caso la transferencia de calor se realiza entre la fuente y el material, sin que exista una elevación en la temperatura del aire que rodea a las piezas. La Figura N° 19 muestra el esquema de un horno por radiación:

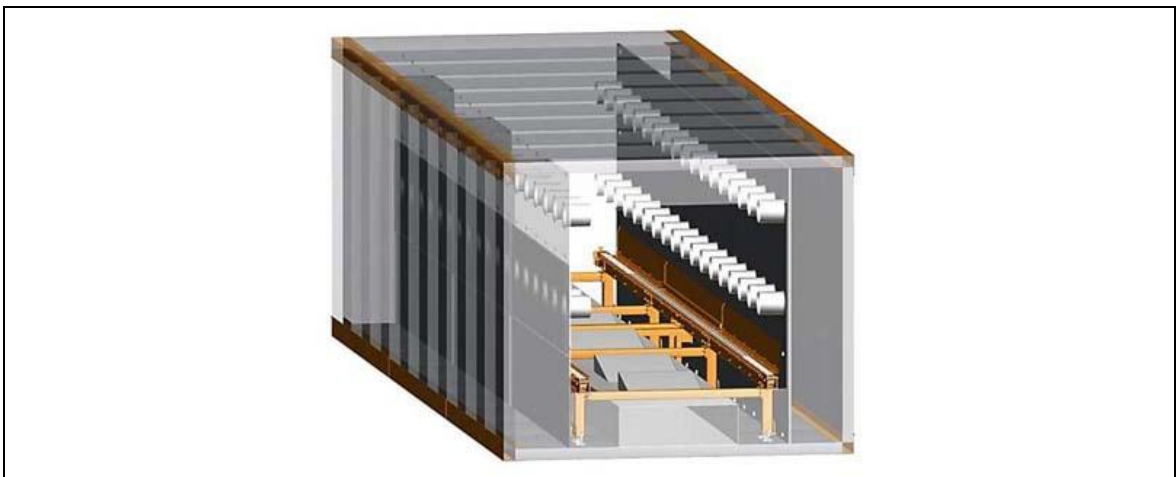


Figura N° 19. Horno por radiación

Según Escobar [5] “La presencia de calor radiante es prácticamente imperceptible y el secreto de su funcionamiento reside en la absorción de la radiación por los objetos.” [5, p. 30]. Para Portalanza [6, p. 15] los hornos de secado por infrarojos comprenden una tecnología más avanzada que el horno por convección y provee varias ventajas como la diversidad de usos y puede aplicarse a casi cualquier material y mejora la efectividad y el tiempo de secado.

El horno por radiación toma como base la emisión de calor por medio de dispositivos como lámparas, tubos de cuarzo, placas reflectoras, paneles cerámicos, entre otros; sobre la zona pintada, estos elementos transmiten la energía directamente hacia el material.

2.2.2 Pintura como determinante del método de secado

Los diversos métodos de secado tienen diversas funciones y utilidades, sin embargo, para el secado de pintura existen métodos más efectivos, e inclusive, los mismos métodos varían su funcionalidad según el tipo de pintura y superficie de pintado.

Para Urda [7, p. 106] se clasifican a las pinturas en función del tipo de secado de la siguiente manera: por evaporación, oxidación, por reacción química.

En el secado por evaporación se trataría de pinturas en las que se efectúa la evaporación del disolvente sin que exista una modificación química en el ligante y es comúnmente nitrocelulosas o acrílicas de un solo componente.

El secado por oxidación comprende a pinturas que, según Urda [7], posterior al primer secado mediante la evaporación del disolvente, se produce una oxidación por acción del aire, por lo que no suelen requerir calor adicional para el secado y es principalmente resinas alquídicas de un componente.

En la pintura por secado por reacción química existe una interacción entre la pintura y el catalizador, que reaccionan en el momento en que se produce la mezcla de ambos. Suelen tratarse de resinas acrílicas, poliuretano, poliésteres insaturados, epoxy, entre otras según Urda [7, p. 106].

Estos tipos de secado hacen referencia al proceso propio de la pintura a través del cual se produce la evaporación del agua o disolvente, que se realiza al aire libre pero en la industria suele ser necesario que se optimice e incremente la velocidad de curado para el uso inmediato del producto.

Urda [7] señala que el secado por uso de radiación ultravioleta es útil para pinturas que secan mediante reacción química. El uso de la radiación infrarroja funciona mediante la emisión de ondas cortas que llegan hasta la superficie del material para provocar el calor desde dentro hacia afuera, como se muestra en la Figura N° 20:

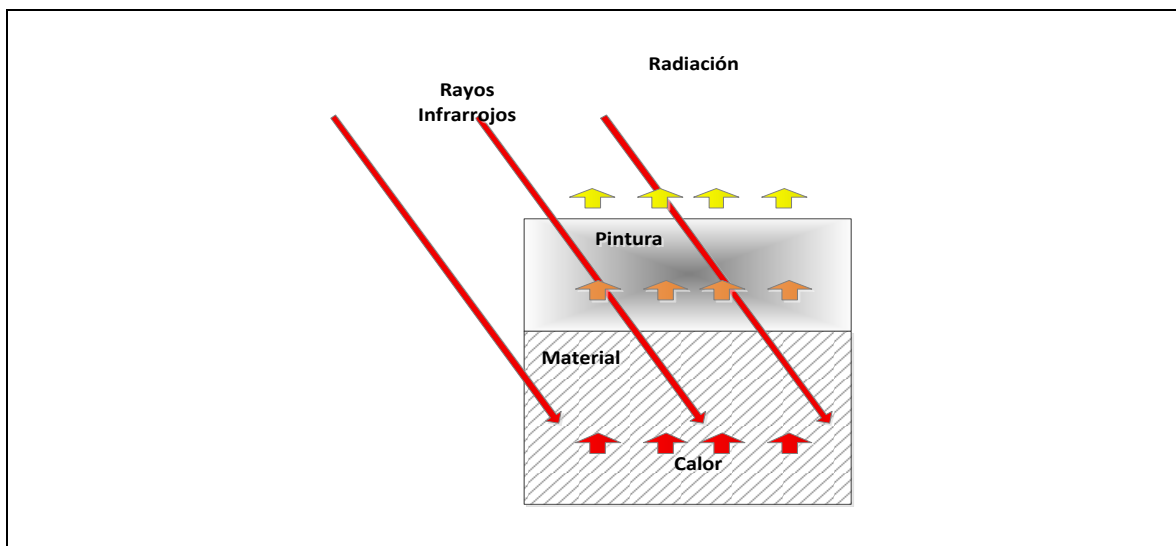


Figura N° 20. Funcionamiento del calentamiento por radiación.
Adaptado de [8, p. 196]

Gómez [8, p. 195] describe este proceso al señalar que en el calentamiento por radiación las ondas electromagnéticas de onda corta atraviesan las diversas capas de barniz y pintura sin calentarlas puesto que la absorción de energía por parte de estas es mínima, sin embargo destaca que pinturas oscuras absorben más energía que las pinturas claras. Cuando las ondas llegan al material lo calientan y transmiten este calor a la capa de pintura desde dentro hacia afuera, por lo que la evaporación de los solventes se realiza de forma más sencilla, como también se evaporan los disolventes y bases acuosas.

El proceso contrario sucede con el secado por convección, en el que el calor llega primero a las capas superficiales de la pintura de forma que se crea una capa superficial por la cual el vapor debe salir con mayor dificultad que en el secado por radiación. La Figura N° 21 muestra esta situación:

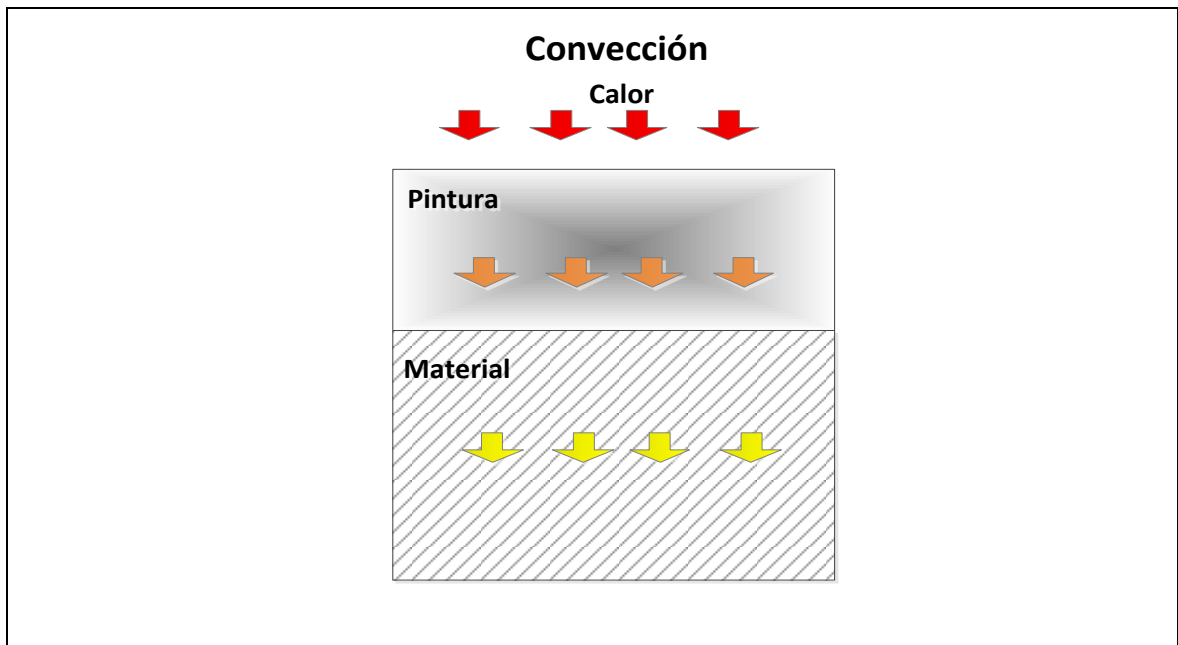


Figura N° 21. Funcionamiento del calentamiento por convección.
Adaptado de [8, p. 196]

Se considera a Calvo [9, p. 343], el secado de pintura en hornos de convección requiere que exista un sistema que permita el movimiento del aire por el interior a fin de aportar con la misma temperatura en todas las zonas, adicionalmente este tipo de horno se diferencia en que, al requerirse que el aire se caliente para el secado, debe trabajarse en áreas cerradas.

En el horno de secado por convección hay factores que alteran la temperatura, como el momento de carga del horno en el que necesariamente existe una liberación de calor al exterior y por ende, de ingreso de aire con menor temperatura al interior. Adicionalmente, los objetos pintados que se encuentran más fríos que la temperatura del horno colaboran en parte a una reducción de la temperatura interna, de modo que existe una curva de temperatura inicial con el ingreso del objeto al horno y una curva final con la salida del mismo para su enfriamiento.

2.2.3 Transferencia de calor

La transferencia de calor es el proceso por el cual la energía calórica de un cuerpo o un medio es transferida hacia otro cuerpo o medio que posee una temperatura menor. Para Cengel & Boles [10, p. 60] la transferencia de calor es la búsqueda del equilibrio térmico entre dos medios o cuerpos con una temperatura diferente, generándose siempre una disminución de calor en el cuerpo con mayor temperatura y una ganancia de calor en el cuerpo con menor temperatura. En un horno por convección el proceso de transferencia de calor se produce entre el aire calentado y la materia a calentarse, sin embargo, en este caso el aire caliente no disminuye su temperatura debido a que existe una fuente de energía constante.

Para Incropera & De Wit [11, p. 2] se define de forma más sencilla al decir que “la transferencia de calor es la energía en tránsito debido a una diferencia de temperaturas”. El calor entonces, es una forma de energía que contienen o adquieren los cuerpos debido a la energía cinética y potencial de las moléculas según mencionan Cengel & Ghajar [12] “en temperaturas más elevadas, las moléculas poseen una energía cinética más alta y como resultado, el sistema tiene una energía interna también más alta” [12, p. 6].

Durante la transferencia de calor las moléculas que poseen una energía cinética más alta, chocan o impactan contra aquellas que poseen una energía cinética menor, por lo que transfiriere parte de esta energía e imprime mayor movimiento lo que eleva su temperatura, mientras que la molécula que provocó el impacto pierde esta energía ya transferida, lo que ocasiona una disminución de su temperatura.

Como forma de energía, el calor tiene unidades de energía, la más común es el kJ como iniciales de kilojulio o *kilojoule*, o Btu por *British termal unit* (equivalente a 1055 joules). La cantidad de calor transferida durante el proceso entre dos estados se denota mediante Q. La transferencia de calor de un sistema por unidad de masa se denota como q y se determina a partir de la siguiente ecuación según Cengel & Boles [10, p. 61]:

Fórmula 1. Transferencia de calor [10]

$$q = \frac{Q}{m} \quad (kJ/kg)$$

Donde:

Q: cantidad de calor transferida durante el proceso entre dos estados. (W)

m: unidad de masa (kg)

Cuando existe la necesidad de determinar la tasa de transferencia de calor (cantidad de calor transferida por unidad de tiempo) en vez del calor total transferido durante cierto intervalo de tiempo, se utiliza la siguiente fórmula:

Fórmula 2. Tasa de transferencia de calor con variación en tasa de transferencia de calor [10]

$$Q = \int_{t_1}^{t_2} \dot{Q} dt \quad (kJ)$$

Q : cantidad de calor transferida durante el proceso entre dos estados. (W)

t : tiempo (s)

\dot{Q} : tasa de transferencia de calor (W)

Donde la tasa de transferencia de calor se expresa con \dot{Q} ., donde el punto significa la derivada con respecto al tiempo, o “por unidad de tiempo”. La tasa de transferencia de calor \dot{Q} tiene las unidades kJ/s (Kilojulios por segundo), equivalente a kW (kilovatio). Cuando \dot{Q} varía con el tiempo, la cantidad de transferencia de calor durante un proceso se determina integrando \dot{Q} sobre el intervalo de tiempo del proceso según mencionan Cengel & Boles [10, p. 61].

Cuando \dot{Q} permanece constante durante un proceso, esta relación se reduce a:

Fórmula 3. Tasa de transferencia de calor con tasa de transferencia de calor constante [10]

$$Q = \dot{Q} \Delta t \quad (kJ)$$

Donde:

Δt : $t_2 - t_1$ Intervalo de tiempo durante el proceso. (s)

Q : cantidad de calor transferida durante el proceso entre dos estados. (W)

\dot{Q} : tasa de transferencia de calor (W)

2.2.4 Mecanismos de transferencia de calor

Cengel & Boles [10, p. 92] señala que el calor se transfiere de tres formas distintas: conducción, convección y radiación. Para Foust & otros [13, p. 330] los tres mecanismos serían molecular (correspondiente a la conducción), turbulento (correspondiente a la convección) y la radiación.

2.2.4.1 Conducción

La transferencia de calor por conducción se debe a la acción molecular según Foust y otros [13, p. 330]. Para Cengel y Boles [10, p. 92] la conducción es la transferencia de energía de las partículas más energéticas de una sustancia hacia las adyacentes menos energéticas, como resultado de sus interacciones. La conducción ocurre en sólidos, líquidos o gases; en estos últimos dos la conducción se debe a las colisiones de las moléculas durante su movimiento aleatorio, mientras que en los sólidos se debe a la combinación de la vibración de las moléculas en una red y el transporte de energía mediante electrones libres.

Respecto a la tasa de conducción de calor Q_{cond} , debe considerarse según Cengel y Boles [10, p. 92] que, la tasa de conducción de una capa de espesor constante es proporcional a la diferencia de temperatura ΔT en la capa y el área A normal a la dirección de transferencia de calor, mientras que es inversamente proporcional al espesor de la capa. Por lo tanto:

Fórmula 4. Tasa de conducción de calor [10]

$$\dot{Q}_{cond} = k_t A \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (W)$$

Donde:

Q : cantidad de calor transferida durante el proceso entre dos estados. (W)

\dot{Q}_{cond} : tasa de conducción de calor (W)

k_t : constante de proporcionalidad, conductividad térmica del material

ΔT : intervalo de tiempo (s)

Δx : espesor de la capa (mm)

Donde la constante de proporcionalidad k_t es la conductividad térmica del material, la cual es una medida de la capacidad del material para conducir calor.

Esta conducción, también depende en gran parte de la capacidad del material de conducir la energía térmica. La **Tabla N° 4** muestra la conductividad térmica de diversos materiales:

Tabla N° 4. Conductividad térmica de diversos materiales

Material	Conductividad térmica, W/m • K
Diamante	2 300
Plata	429
Cobre	401
Oro	317
Aluminio	237
Hierro	80.2
Mercurio (l)	8.54
Vidrio	1.4
Ladrillo	0.72
Agua (l)	0.613
Piel humana	0.37
Madera (roble)	0.17
Helio (g)	0.152
Hule suave	0.13

Material	Conductividad térmica, W/m • K
Fibra de vidrio	0.043
Aire (g)	0.026
Uretano, espuma rígida	0.026

Fuente: [10, p. 93]

No obstante, para el estudio cabe considerar el tipo de material utilizado en la elaboración de los juegos infantiles y determinar si este incide de alguna manera en el proceso de secado, pues el horno trabaja mediante convección y no conducción.

2.2.4.2 Convección

El mecanismo de transferencia de calor por convección, también llamado turbulento por Foust & otros [13, p. 330], debido a que en este tipo de transferencia el calor se trasmite por el movimiento y choque del fluido caliente al objeto. Cengel & Boles [10, p. 93] lo exponen de mejor manera al menciona que se trata de un modo de transferencia de energía calórica entre un sólido, o superficie sólida y el gas o líquido que se encuentra en movimiento. Mientras mayor sea el movimiento del fluido y la temperatura mayor será la transferencia de calor por convección.

Se dice que existe una convección forzada cuando el fluido caliente es forzado a fluir sobre la superficie a calentarse por medios externos como el uso de una bomba o ventilador, mientras que la convección natural se produce por el movimiento generado por las variaciones de densidad por las diversas temperaturas en el fluido. La tasa de transferencia de calor por convección \dot{Q}_{conv} se determina a partir de la ley de enfriamiento de Newton, expresada como:

Fórmula 5. Tasa de transferencia de calor por convección [10]

$$\dot{Q}_{conv} = hA(T_s - T_f) \quad (W)$$

Donde:

h: coeficiente de transferencia de calor por convección. $\left(\frac{W}{m^2K}\right)$

A: superficie en la cual tiene lugar la transferencia de calor. (m^2)

Ts: temperatura de la superficie ($^{\circ}C$)

Tf: temperatura del fluido lejos de la superficie. En la superficie, la temperatura del fluido es igual a la temperatura superficial del sólido. ($^{\circ}C$)

Cengel & Boles [10] explican que el coeficiente de transferencia de calor por convección h no es una propiedad del fluido, es un parámetro determinado de forma experimental cuyo valor depende de todas las variables que afectan la convección, como la configuración geométrica de la superficie, la naturaleza del movimiento del fluido, las propiedades del fluido y la velocidad volumétrica del fluido. Los valores representativos de h, en $W/m^2 \cdot K$, se encuentran en el intervalo entre 2 y 25 para la convección libre de gases, 50 y 1 000 para la convección libre de líquidos, 25 y 250 para la convección forzada de gases, 50 a 20 000 para la convección forzada de líquidos y 2 500 a 100 000 para la convección en procesos de ebullición y condensación.

2.2.4.3 Radiación

El último mecanismo, por radiación, se revisará de forma breve, pues en el estudio no se ha considerado la utilización de un horno por radiación, pues si bien la bibliografía señala que es una alternativa más eficiente y productiva, los costos iniciales y de instalación de un horno por infrarrojos son mayores.

Foust & otros [13] destacan que la radiación depende de las ondas electromagnéticas y no del contacto físico para producir el calor, a diferencia de la convección y conducción. La radiación es verificada de manera simultánea o independiente de los otros dos mecanismos de transferencia.

Para Cengel & Boles [10, p. 94] la radiación es la energía que emite la materia en la forma de ondas electromagnéticas (o fotones) como resultado de cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas. Este tipo de transferencia es la más rápida (se lleva a cabo a la velocidad de la luz) y no experimenta ninguna atenuación en el vacío. Éste es exactamente el modo como la energía del Sol llega a la Tierra.

Fórmula 6. Fórmula de radiación

$$Q_{NETO} = \sigma \varepsilon A (T_2^4 - T_1^4) \quad (W) \quad [14] \square$$

Donde:

σ : constante universal Stephan Boltzmann.

ε : emisividad adimensional

A : área (mm^2)

T_1 : temperatura en el cuerpo uno ($^{\circ}C$)

T_2 : temperatura en el cuerpo dos ($^{\circ}C$)

2.3 Optimización de tiempos en secado de pintura industrial

Al considerar los tiempos de secado se presentan diversos factores que tienen un impacto directo en el tiempo final, tales como el tipo de sustrato a pintar, la temperatura de secado, el espesor de la capa de pintura y la humedad inicial y final de la pintura.

Sobre la influencia del sustrato Scheweigger [1, p. 246] expone que:

Al aplicar un sistema pigmentado, como lo es una pintura o un recubrimiento plástico, hay que tener en cuenta que durante el secado, el flujo de agua dentro de la capa de material aplicado transporta consigo los productos solubilizados y la dispersión misma. Si el sustrato no es absorbente, el secado se efectúa por evaporación del agua y por consiguiente, el flujo de agua en el sustrato es del interior hacia la superficie. Esto conduce a un gradiente de concentración de ligante, tensoactivos, dispersantes y espesante, incrementando su concentración hacia la superficie de la película, lo que significa la formación de un gradiente del cvp [Concentración en Volumen de Pigmento] en el espesor de la película. La superficie del recubrimiento será más rica en ligante que lo previsto en la fórmula del producto.

En el caso de piezas metálicas se trata de sustratos no absorbentes, por lo que durante el proceso de secado el agua y disolventes que se evaporan, lo hacen desde el interior hacia el exterior, reduce la concentración del pigmento y afecta el color final de la pintura. Lo contrario sucede en superficies minerales absorbentes en las que el agua y los disolventes son parcialmente absorbidos.

Otro aspecto señalado, la temperatura de secado, o el gradiente de temperatura que se ejerce durante el proceso también afectan la calidad del acabado final pues “El secado forzado acelera la evaporación superficial del agua y por consiguiente el aumento de concentración de polímero en la superficie de la pintura” [1, p. 246].

El espesor de la capa de pintura es una variable importante puesto que “a mayor espesor mayor es la cantidad de agua retenida y por consiguiente a eliminar” [15, pp. 6-7], de

modo que un espesor mayor provoca que el agua tenga mayor dificultad para desplazarse desde las capas internas al exterior.

Según Aguirre [15, p. 11] el espesor de pintura tiene un gran interés en lo que al secado se refiere por dos cuestiones:

- Una y muy obvia es que a mayor espesor de pintura e igual grado de humedad mayor es la cantidad de agua a eliminar y por tanto mayor esfuerzo de secado.
- La segunda y no tan evidente, es que a mayor espesor menor es la penetrabilidad de la pintura al fluir el agua y por tanto el agua retenida en la parte más interna de la pintura experimenta una mayor resistencia a fluir hacia el exterior y su posterior eliminación.

El último factor es la humedad inicial y final de la pintura, que de acuerdo con Scheweigger [1, p. 81] influye en la cantidad de agua a eliminarse.

2.4 Control de calidad

La naturaleza del sustrato y las características del medio agresivo definen un espesor óptimo para cada sistema de pinturas. Altos espesores aseguran buenas propiedades de flujo, satisfactorio poder cubriente y reducida permeabilidad al vapor de agua, gases, etc. Sin embargo, espesores elevados generalmente conducen al deterioro de las propiedades fisicomecánicas y consecuentemente a un desempeño en servicio menos eficiente. [16, p. 2]

Entre los métodos para medir el espesor de la pintura Giudice & Pereyra [16, p. 2] señalan que estos varían según si la medición es realizada en pintura húmeda o seca.

Entre los métodos de medición de película húmeda se mencionan el peine, mostrado en la Figura N° 22 y la rueda.

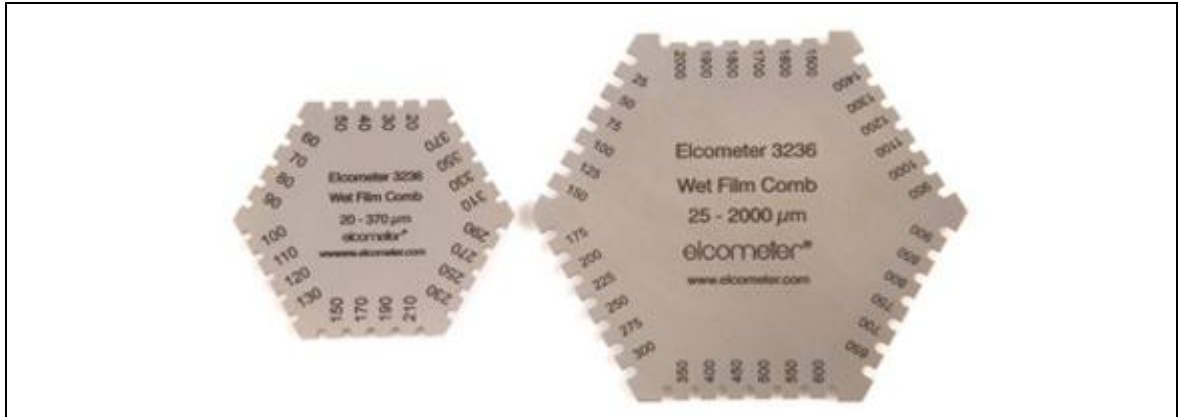


Figura N° 22. Peine para medición de espesor en película húmeda

El peine consiste en un dispositivo con dientes de diferente longitud; se lo presiona sobre la película fresca en ángulo recto hasta alcanzar la base. La aguja de mayor longitud que no entró en contacto con la pintura indica el espesor de película húmeda

La rueda contiene una superficie central con distancias variables hasta el sustrato, según la posición. Por rotación se determina el lugar en el cual la superficie excéntrica central es exactamente humectada por la pintura; ésta última se corresponde con el espesor de película húmeda.

En cuanto a la medición en película seca se menciona la cuchilla de corte y la medición de capas.

En la cuchilla de corte se utiliza un corte en la película hasta el sustrato en forma de V, con un ángulo de inclinación de 45° C. Microscópicamente se determina la distancia entre el sustrato y la parte superior de la película en el corte inclinado y se corrige la distancia al conocer el ángulo de inclinación se determina el espesor total.

En medición de capas se utiliza un instrumento de medición de precisión para tomar una medida del espesor del sustrato antes y después de la aplicación de la película de pintura, la determinación de la diferencia entre ambas dará el valor del espesor de la pintura.

Por otro lado, la dureza de la pintura, es decir su capacidad de resistencia a la abrasión, varía de acuerdo al grado de sequedad logrado y a la calidad propia de la pintura, sin embargo, para el presente estudio toma importancia el determinar la dureza para establecer si existe o no un secado completo.

Para esto se manejan varios métodos, por ejemplo:

- Chorro de arena: la arena de granulometría definida se dispone en un embudo cónico ubicada en la parte superior del equipo. La probeta se coloca con una inclinación de 45°; la arena por acción gravitatoria impacta sobre la superficie pintada. Se determina la cantidad de arena conducente a lograr el desgaste de la película de espesor definido.
[16, p. 12]
- Desgaste por fricción: se utiliza un cepillo que permite evaluar la lavabilidad y resistencia a la abrasión de la película; dispone de un contador de ciclos y se determina el número hasta lograr el desgaste de la película.
- Rascado: la determinación de la dureza de la película por rascado (scratch hardness) generalmente involucra la acción de una aguja que se dispone sobre la probeta en estudio que se desplaza en una dirección dada, en ambos sentidos de desplazamiento. No obstante, una variación de este método es el de utilizar lápices de diversa

dureza (desde 6b, 4b, 2b, b, hb, 2h y 4h) para realizar un raspado de la superficie, estas pruebas se realizan cada cierto tiempo transcurrido para establecer el grado de secado.

2.5 Matriz de decisión sobre el horno para secado

Para decidir que horno se utilizará para la realización de las pruebas se consideraron diversos factores que se calificaron entre 1 y 5 en función de diversos criterios. La calificación 5 corresponde a un criterio positivo, mientras que 1 es negativo. En ciertos criterios una calificación baja es positiva como en el costo del prototipo, mientras que en otros un criterio alto es positivo como en el control de temperatura.

Los criterios utilizados para evaluar la construcción se encuentran en la

Tabla N° 5 y fueron:

- Facilidad para elaborar estructura: grado de complejidad que representa la construcción de una estructura necesaria para el horno.
- Control de temperatura: grado de precisión con el que se puede regular la temperatura en el horno.
- Facilidad para elaborar prototipo: facilidad que representa la construcción de un prototipo a pequeña escala.
- Peso: peso del horno que impida o facilite su manipulación y transporte.
- Facilidad para replicarlo a gran escala: facilidad que presenta el prototipo para ser implementado a un tamaño que permita el secado de las piezas producidas por la Empresa *Mundo de los Juegos*.

Tabla N° 5. Matriz de decisión – construcción del horno

CONSTRUCCIÓN		Horno por convección a gas		Horno por convección a electricidad		Horno por radiación		
CRITERIOS	Pond.	Calificación	Ponderado	Calificación	Ponderado	Calificación	Ponderado	TOTAL
Facilidad para elaborar estructura	0,25	5	1,25	5	1,25	1	0,25	1,25
Control de temperatura	0,10	4	0,40	5	0,50	5	0,50	0,50
Facilidad para elaborar prototipo	0,35	3	1,05	5	1,75	1	0,35	1,75
Peso	0,10	5	0,50	3	0,30	3	0,30	0,50
Facilidad para replicarlo a gran escala	0,20	4	0,80	3	0,60	1	0,20	1,00
TOTAL	1,00		4,00		4,40		1,60	5,00

El horno por convección a electricidad es el que presenta una mayor calificación, por tanto, en la construcción del horno es la mejor alternativa.

Para evaluar el consumo se consideró los siguientes criterios expuestos en la **Tabla N° 6:**

- Facilidad de acceso a fuente de energía: facilidad con que el horno puede acceder a una fuente de alimentación, a gas o electricidad, según su diseño.
- Consumo de energía del prototipo: cantidad de consumo que el prototipo del horno de secado genera con su utilización.
- Consumo de energía del horno a gran escala: cantidad de consumo que el horno a gran escala requeriría para su utilización y el costo que conllevaría.

Tabla N° 6. Matriz de decisión – consumo del horno

CONSUMO		Horno por convección a gas		Horno por convección a electricidad		Horno por radiación		
CRITERIOS	Pond.	Calificación	Ponderado	Calificación	Ponderado	Calificación	Ponderado	TOTAL
Facilidad de acceso a fuente de energía	0,30	5	1,5	5	1,5	5	1,5	1,50
Consumo de energía del prototipo	0,40	4	1,6	5	2	4	1,6	2,00
Consumo de energía del horno a gran escala	0,30	3	0,9	2	0,6	1	0,3	1,50
TOTAL	1,00		4		4,1		3,4	5,00

El horno por convección a electricidad es la mejor alternativa, ligeramente por encima del horno por convección a gas, según el análisis de consumo.

En cuanto al análisis del costo se consideró los siguientes criterios como se presentan en la **Tabla N° 7**:

- Costos de fuente de energía (gas, electricidad): valor comparativo que representa un tipo de alimentación en comparación a la que utilizan otras alternativas.
- Costos de materiales: valor representativo de los materiales necesarios para construir el prototipo o el horno a gran escala.
- Costos de mantenimiento: valor representativo del mantenimiento que requeriría el horno a gran escala.
- Costos de prototipo: valor del prototipo de acuerdo con las alternativas expuestas.

Tabla N° 7. Matriz de decisión – costo del horno

COSTOS	Pond.	Horno por convección a gas		Horno por convección a electricidad		Horno por radiación		TOTAL
		Calificación	Ponderado	Calificación	Ponderado	Calificación	Ponderado	
Costo de fuente de alimentación (gas, electricidad)	0,15	5	0,75	4	0,6	3	0,45	0,75
Costo materiales	0,30	4	1,2	5	1,5	2	0,6	1,50
Costo mantenimiento	0,20	5	1	3	0,6	2	0,4	1,00
Costo prototipo	0,35	4	1,4	5	1,75	2	0,7	1,75
TOTAL	1,00		4,35		4,45		2,15	5,00

Según los resultados obtenidos el horno por convección a electricidad es el que presenta mayor factibilidad para ser desarrollado en función de la investigación.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

3.1 Diseño de recopilación de datos

En la Figura N° 23 se muestra el proceso de experimentación mediante un diagrama de flujo:

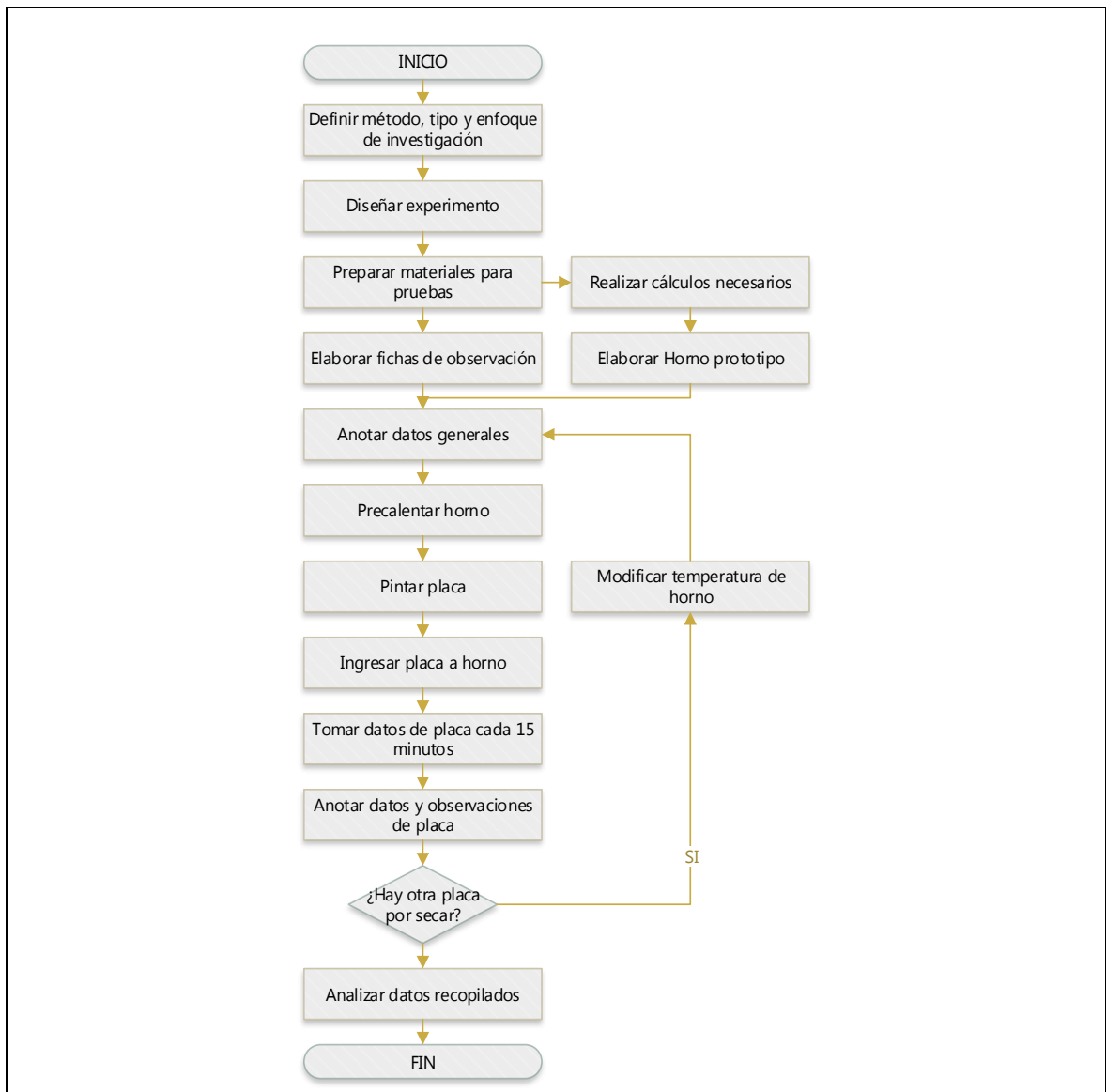


Figura N° 23. Diagrama de flujo del proceso de experimentación

La investigación se centró en la realización de pruebas de secado en piezas de metal acero A36 por ser del mismo material que los juegos infantiles, se utilizó la pintura esmalte sintético marca Wesco Atomix, que maneja la empresa Mundo Juegos, para establecer los mejores tiempos de secado.

Las diversas pruebas fueron realizadas en un horno prototipo. La evaluación de los hornos que se muestra en las tablas N° 5, 6 y 7 permitió definir el horno que se utilizaría, un horno por convección a electricidad.

3.1.1 Método, tipo y enfoque de investigación

Los métodos de investigación aplicados son el analítico-sintético. De acuerdo con Bernal [17, p. 56] el método analítico “consiste en descomponer un objeto de estudio separando cada una de las partes del todo para estudiarlas en forma individual”; mientras que el método sintético hace lo opuesto, integra los diversos elementos de un objeto de estudio para analizarlos como uno solo. Ambos métodos se manejan de forma conjunta. Mediante el analítico se realizó la descripción del problema y se determinaron los temas que conformaron el marco teórico. Mientras que el método sintético se aplicó con el análisis de los datos recopilados mediante el experimento con el secado al horno de placas de metal para llegar a las conclusiones finales del estudio.

Como tipos de investigación se mencionan dos, la investigación bibliográfica-documental y la investigación experimental. La primera se utilizó para la construcción del marco teórico y la fundamentación del trabajo en general, mientras que la investigación experimental se abordó en la realización de las diversas pruebas de secado en el horno prototipo.

Los enfoques de investigación fueron el cualitativo y el cuantitativo. El enfoque cualitativo se basó en la utilización de “descripciones y observaciones” [18, p. 60] por lo cual se aplicó en el análisis e interpretación de los datos, mientras que el enfoque cuantitativo “confía en la medición numérica, el conteo y en el uso de la estadística” [18, p. 60]; por tanto se aplicó este enfoque en la medición de los datos que sustentan la investigación.

3.1.2 Detalle de pruebas en el proceso de secado de placas

El proceso de recolección de datos siguió los siguientes pasos:

-Preparación de los materiales para la realización de pruebas: pintura esmalte sintético marca Wesco Atomix, placas de acero al carbono ASTM A36 e instrumentos de medición, como micrómetro de espesores, lápices de diferentes durezas en base a su diferente composición de grafito y el programa Adobe Photoshop.

-Las placas de metal utilizadas están compuestas del mismo material con el que se elaboran los productos en la Empresa *Mundo de los Juegos*. El material es acero al carbono ASTM A36.

-Realización de las pruebas: con la elaboración de las fichas de observación y la posterior aplicación de las mismas.

3.1.3 Datos generales del estudio

La realización de los experimentos se llevó a cabo mediante cuatro pruebas utilizando placas pintadas en las mismas condiciones. Por cada prueba se utilizaron dos placas. Los siguientes datos corresponden a las cuatro pruebas. En la **Tabla N° 8** se expresan los resultados obtenidos:

Tabla N° 8. Datos generales del estudio

CARACTERÍSTICAS DE LAS PLACAS METÁLICAS	Dimensiones (Largo y ancho)	100 x 100 mm.
	Espesor	2 mm.
	Material	Acero A36
	Recubrimiento: Si/No	No
	Tratamiento (lijada, se colocó antioxidante, etc)	Grata, Lija, desengrasante
PINTURA	Tipo de pintura	Primer, Esmalte
	Preparado (Proporción utilizada de disolvente y pintura)	1 a 1
CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES	Temperatura	17° C
	Humedad	82 %
	Viento	13 km/hora
PROCESO DE PINTURA	Manos de pintura dadas	4 manos
DATOS SOBRE EL SECADO	Tiempo transcurrido antes del ingreso al horno de la placa después del pintado (minutos)	5 min

Cada placa fue colocada a una temperatura diferente en el horno para la realización de las pruebas de acuerdo a la **Tabla N° 9**:

Tabla N° 9. Temperatura a la que se colocaron las placas en el horno

PLACA	TEMPERATURA DEL HORNO
001	80°C
002	100°C
003	120°C
004	140°C

3.2 Horno por convección

3.2.1 Descripción técnica

La finalidad del horno empleado para el análisis de secado de pintura es asegurar la polimerización de la película de pintura aplicada sobre las piezas en el proceso de pintado.

Los hornos industriales de resistencias son aquellos en que la energía requerida para su calentamiento es de tipo eléctrico y procede de la resistencia óhmica directa de las piezas o de resistencias eléctricas dispuestas en el horno que se calientan por efecto Joule y ceden calor a la carga por las diversas formas de transmisión de calor.

El calentamiento de piezas por resistencias eléctricas es indirecto, puesto que las piezas se calientan por convección.

3.2.1.1 Estructura del horno

La estructura del horno es de acero inoxidable AISI 201. El esquema del horno se muestra en la Figura N° 24:

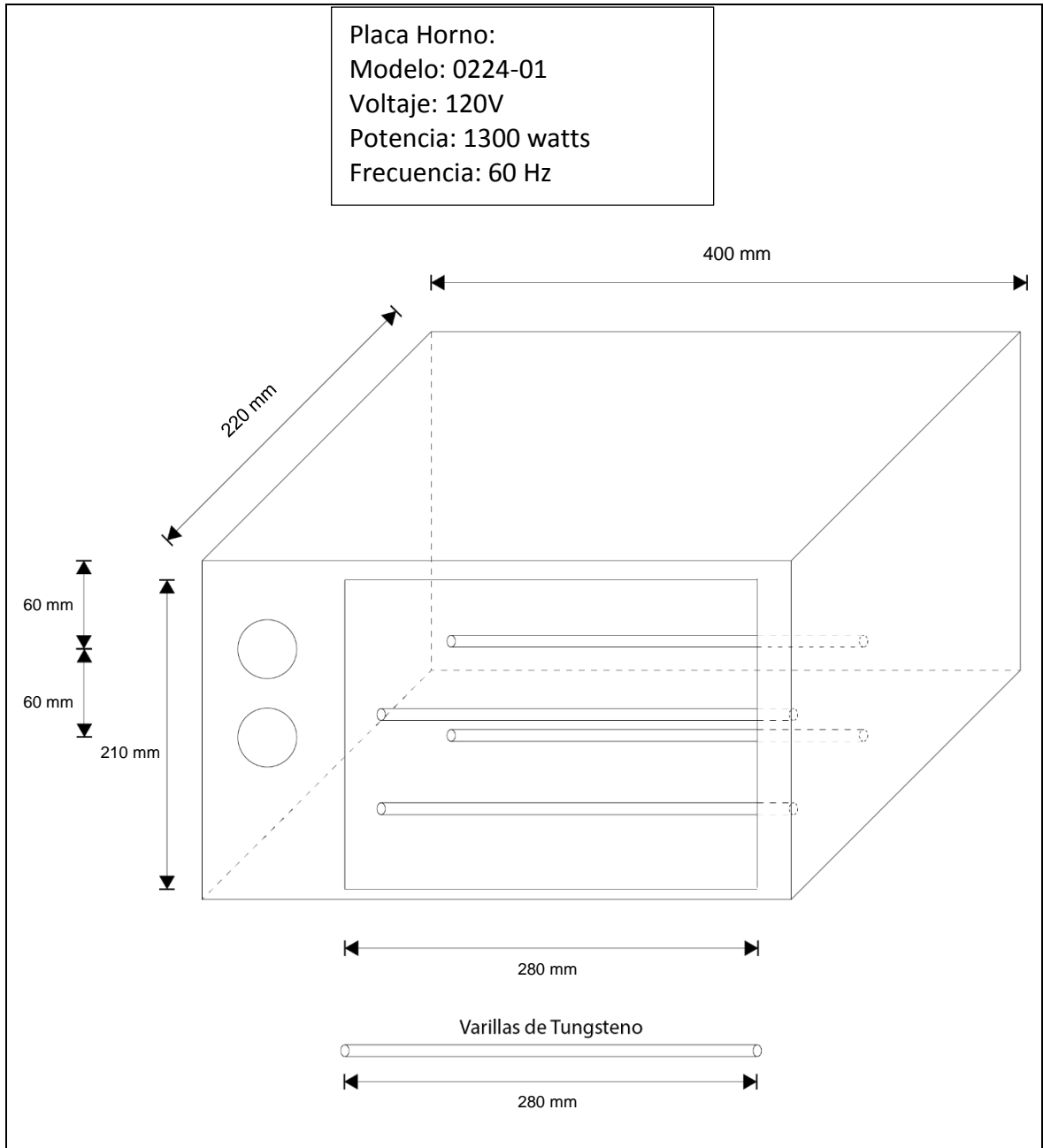


Figura N° 24. Horno prototipo

3.2.2 Características del horno

La finalidad del horno de secado es asegurar la polimerización de la película de pintura aplicada sobre las piezas en el proceso de pintado. Según la **Tabla N° 10** las dimensiones del horno son:

Tabla N° 10. Dimensiones internas del horno

Dimensiones (mm)		
<i>Longitud</i>	<i>Ancho</i>	<i>Alto</i>
280	210	210

El horno empleado para el análisis del secado de pintura en Juegos Infantiles, fue adaptado acorde a las necesidades de uso, presenta las siguientes características técnicas:

- Circulación de aire vertical descendente
- Sistema de apagado manual
- Sistema de encendido manual
- Control de temperatura análogo
- Calentamiento mediante energía eléctrica
- Temperatura de trabajo comprendida entre una temperatura máxima de 140°C y una temperatura mínima de 80°C

Las dimensiones de la puerta de acceso se presentan en la **Tabla N° 11**:

Tabla N° 11. Dimensiones de la puerta de acceso

Dimensiones (mm)		
<i>Longitud</i>	<i>Ancho</i>	<i>Alto</i>
280	4	210

3.2.2.1 Información de las placas a secar

El material empleado para el análisis de tiempos de secado, son placas de acero A36 de 100mm por 100mm, cuyo espesor es de 2mm, por ser un material similar del juego infantil y se encuentran a una temperatura inicial de 23°C, se colocará en el horno con ambiente en convección cuya temperatura varía de 80°C a 140°C

Según Bilurbina y Liesa [19, p. 271] la densidad media del acero es de 7800 kg/m³, sin embargo, los datos del proveedor de acero A36 para la empresa Mundo Juegos, reportaron una densidad de 7833 kg/m³, valor con el que se realizaron los cálculos. Los datos sobre el volumen de la masa corresponden a las dimensiones de las placas utilizadas para el experimento.

- Masa aproximada a secar:

Fórmula 7. Masa [20]

$$m = \delta_{Acero} \times V_{Material}$$

Donde:

m : masa a secar (kg)

δ_{Acero} : densidad de acero. $\left(\frac{Kg}{m^3}\right)$

$V_{Material}$: volumen del material (m^3)

$$\delta_{Acero} = 7833 \frac{Kg}{m^3}$$

$$V_{Material} = Largo \times Ancho \times Altura$$

$$V_{Material} = 0.1m \times 0.002 \times 0.1m$$

$$V_{Material} = 2 \times 10^{-5} m^3$$

Fórmula 8. Densidad [20]

$$\delta_{Acero} = \frac{masa}{Volumen}$$

$$m = 7833 \frac{Kg}{m^3} \times 2 \times 10^{-5} m^3$$

$$m = 0.157 Kg$$

$$m = 157 g$$

3.2.2.2 Cálculos

Para determinar el flujo de calor necesario para secar una unidad se aplicó la ecuación de flujo de calor:

Fórmula 9. Flujo de calor [22]

$$Q = m \times Cp \times \Delta T$$

Donde

m: masa (*m*)

ΔT : intervalo de temperatura (°C)

Cp : calor específico ($\frac{KJ}{Kg \cdot ^\circ C}$)

Los valores correspondientes a calor específico y conductividad térmica corresponden a los datos de “valores de propiedades para metales” expuestos en el libro “Transferencia de calor” de Karlekar y Desmond [14]

$$Q = 0.157 \text{ Kg} \times 0.465 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}} \times (140 - 80)^\circ\text{C}$$

$$Q = 4.38 \text{ KJ}$$

$$Q_1 = 4.38 \text{ KJ}$$

Los datos sobre la masa y el calor específico se calcularon en el acápite anterior. Los datos sobre la temperatura máxima y mínima corresponden a la temperatura designada para el horno. El dato del calor específico se tomó a partir de los “valores de propiedades para metales” [14]. La variación de temperatura corresponde a la temperatura final menos la temperatura inicial.

3.2.2.3 Velocidad de calentamiento

Para determinar la velocidad de calentamiento se requiere conocer el tamaño de los objetos a secar. Las dimensiones de los elementos a secar se presentan en la Tabla N° 12:

Tabla N° 12. Dimensiones de los elementos a secar

Dimensiones (mm)		
<i>Longitud</i>	<i>Ancho</i>	<i>Alto</i>
100	2	100

La longitud del horno es de 280mm. y la longitud de los elementos a secar aproximadamente son de 100mm. Con los datos obtenidos se calcula las unidades aproximadas que se encuentran dentro del horno.

Por lo tanto:

$$\text{Número de unidades dentro del horno} = \frac{280 \text{ mm}}{100 \frac{\text{mm}}{\text{unidades}}} = 2.8 \text{ unidades}$$

Los elementos posibles a secar dentro del horno son de 2 unidades,

3.2.2.4 Consumo de energía eléctrica

Los datos referentes al consumo de energía eléctrica se obtuvieron de la descripción del horno prototipo.

Fórmula 10. Consumo de energía eléctrica

$$\text{Consumo de Energía Eléctrica} = \frac{\text{Potencia} \times \text{horas de uso al mes}}{1000}$$

$$\text{Consumo de Energía Eléctrica} = \frac{1300 \text{ W} \times 1 \text{ hora}}{1000}$$

$$\text{Consumo de Energía Eléctrica} = 1.3 \text{ Kwh}$$

El consumo de energía en cada hora de empleo es de 1.3 Kwh

3.2.2.5 Temperatura del horno y flujo de calor

La temperatura de trabajo del horno está comprendida entre 80°C y 140°C cuya longitud es de 280 mm, ancho 210 mm y alto 210 mm.

3.2.2.6 Zona convección

Una zona de convección es un punto o área en la que ocurren los movimientos de un fluido. En un horno se trataría del área en la que se producen los movimientos de aire caliente. El flujo de calor por convección viene dado por la siguiente fórmula:

$$Q = hA(T_s - T_\infty) \quad (\text{W})$$

Donde:

Q: flujo de calor por convección (W)

h: coeficiente de transferencia de calor por convección $\left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{°C}}\right)$

A: área de contacto entre el fluido y la pared (m^2)

T_s : temperatura promedio del material (°C)

T_∞ : temperatura en el medio circundante - horno (°C)

a) Área de la placa:

$$A = 100\text{mm}^2 \times 100\text{mm}^2$$

$$A = 10000\text{mm}^2$$

b) Volumen de la placa:

$$V_{\text{Material}} = \text{Largo} \times \text{Ancho} \times \text{Altura}$$

$$V_{\text{Material}} = 0.1\text{m} \times 0.002 \times 0.1\text{m}$$

$$V_{\text{Material}} = 2 \times 10^{-5} \text{m}^3$$

$$\delta_{\text{Acero}}: 7833 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$Q = hA(T_s - T_\infty) \quad (\text{W})$$

$$Q = 15 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{°C}} \times 0.01\text{m}^2 (23 - 100)\text{°C}$$

$$Q = -11.55 W$$

El valor correspondientes al coeficiente de convección $15 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$ corresponden a los datos de “valores de propiedades para metales” expuestos en el libro “Transferencia de calor” de Karlekar y Desmond [20].

c) Conducción de calor transitorio:

Fórmula 12. Conducción de calor transitorio

$$\frac{T - T_\infty}{T_i - T_\infty} = e^{-\frac{\Delta h}{\delta v C p} \theta}$$

Donde:

$$\text{Calor específico: } Cp_{acero} = 0,465 \frac{KJ}{kg \cdot ^\circ C}$$

$$\text{Conductividad térmica: } K = 54 \frac{W}{mK}$$

$$\text{Absortividad: } \alpha = 1.474 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s}$$

Los valores correspondientes a calor específico y conductividad térmica corresponden a los datos de “valores de propiedades para metales” expuestos en el libro “Transferencia de calor” de Karlekar y Desmond [20].

Para aplicar la ecuación de estado transitorio se debe conocer varios parámetros como:

d) Longitud Característica

Fórmula 13. Longitud característica

$$L_c = \frac{v}{A}$$

Donde:

V: volumen (m^3)

A: área (m^2)

$$L_c = \frac{2 \times 10^{-5} m^3}{(0.1 \times 0.1) m^2}$$

$$L_c = 2 \times 10^{-3} m$$

e) Número de Biot

Fórmula 14. Número de Biot

$$Biot = \frac{hL_c}{K}$$

Donde:

h: coeficiente de transferencia de calor ($\frac{W}{m^2 \cdot K}$)

Lc: longitud característica (m)

K: conductividad térmica ($\frac{W}{m \cdot K}$)

$$Biot = \frac{15 \frac{W}{m^2 \cdot K} \times 2 \times 10^{-3} m}{54 \frac{W}{m \cdot K}}$$

$$Biot = 5.55 \times 10^{-4} < 1$$

Se aplica el concepto de resistencia interna despreciable puesto que el valor de Bi obtenido es menor a 0.1.

El número de Biot es la razón entre la resistencia interna y la resistencia externa. En consecuencia, un número de Biot pequeño indica un valor bajo de la resistencia interna en relación con la resistencia externa, por lo tanto satisface el prerrequisito para considerarle como sistema de resistencia interna despreciable. [20]

Al reemplazar todos los datos en la ecuación de estado transitorio se tiene:

Fórmula 15. Ecuación de estado transitorio [14]

$$\frac{T - T_{\infty}}{T_o - T_{\infty}} = e^{-\left(\frac{hA}{\rho cV}\right)\tau} \text{ si } Bi < 0.1$$

Donde:

ρ : densidad de la placa $\left(\frac{Kg}{m^3}\right)$

T : temperatura de la placa en el tiempo ($^{\circ}C$)

T_o : temperatura inicial de la placa ($^{\circ}C$)

T_{∞} : temperatura del fluido que rodea a la placa ($^{\circ}C$)

τ : tiempo requerido para alcanzar la temperatura (s)

C_p : calor específico del material, a presión constante $\left(\frac{KJ}{Kg^{\circ}C}\right)$

h : coeficiente de transferencia de calor por convección $\left(\frac{W}{m^2^{\circ}K}\right)$, tomado de la tabla de

“valores representativos del coeficiente convectivo de transferencia de calor” [14]

$$\frac{T - 140^{\circ}C}{23^{\circ}C - 140^{\circ}C} = e^{-\frac{15 \times 0.01}{7833 \frac{Kg}{m^3} \times 0.465 \frac{KJ}{Kg^{\circ}C} \times 2 \times 10^{-5} m^3} \times 0.30}$$

$$T = (23^{\circ}\text{C} - 140^{\circ}\text{C})e^{-0.62} + 140$$

$$T = 77.06^{\circ}\text{C}$$

3.3 Resultados del secado de placas en diferentes temperaturas

Lo datos recopilados son los siguientes:

- Observación cualitativa del estado de la pintura.
- Calificación de la dureza.
- Medición de la variación en brillo.
- Medición de la variación en saturación.
- Medición de la variación en matiz.
- Comparación del espesor final de la capa de pintura.

3.3.1 Observación cualitativa del estado de la pintura

La observación cualitativa determinó el estado de la pintura a simple vista, a fin de determinar posibles diferencias. Los resultados presentados en la **Tabla N° 13**, muestran que en las cuatro placas el comportamiento fue igual, a pesar de los cambios en la temperatura:

Tabla N° 13. Observación cualitativa del estado de la pintura

Experimento- Placa	15 min de horneado	30 min de horneado	45 min de horneado	60 min de horneado
001-80°C	Húmeda, pegajosa	Seca	Seca	Seca
002-100°C	Húmeda, pegajosa	Seca	Seca	Seca
003-120°C	Húmeda, pegajosa	Seca	Seca	Seca
004-140°C	Húmeda, pegajosa	Seca	Seca	Seca
005- temperatura ambiental	Húmeda, pegajosa	Húmeda, pegajosa	Húmeda, pegajosa	Húmeda, pegajosa

Como muestra la **Tabla N° 13** en los cuatro casos la superficie de la pintura a los 15 minutos de horneado fue húmeda y pegajosa, mostrándose seca desde la revisión a los 30 minutos de horneado. No se encontraron diferencias perceptibles en los cuatro casos a pesar de las diferencias en temperatura, con excepción de la placa al aire libre, la cual no se mostró seca, sino hasta 17 horas después del pintado.

3.3.2 Calificación de la dureza

Para la calificación de la dureza de la pintura se realizó una prueba con la utilización de lápices de diversa dureza, rasgando con cada uno la superficie pintada para determinar la resistencia. La **Tabla N° 14** describe la caracterización de la dureza en los lápices utilizados para el experimento:

Tabla N° 14. Dureza según grafitos utilizados

Lápiz	4H	3H	2H	H	HB	B	2B	3B	4B	6B
% de grafito	55%	58%	60%	63%	68%	71%	74%	76%	79%	84%
% de arcilla	39%	36%	34%	31%	26%	23%	20%	18%	15%	10%
% de cera	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
Dureza	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
	← Más resistente								Más suave →	

Hay que recalcar que la escala de dureza que se muestra en la **Tabla N° 14** es una escala designada para esta investigación, con la finalidad de cuantificar la dureza evaluada.

Tabla N° 15. Dureza de la pintura por temperatura y tiempo de horneado

Experimento-Placa	Temperatura horno antes del ingreso (grados centígrados)	Dureza			
		15 min de horneado	30 min de horneado	45 min de horneado	60 min de horneado
001	80 °C	1	2	8	9
002	100 °C	6	8	8	9
003	120 °C	1	4	7	9
004	140 °C	3	5	8	9

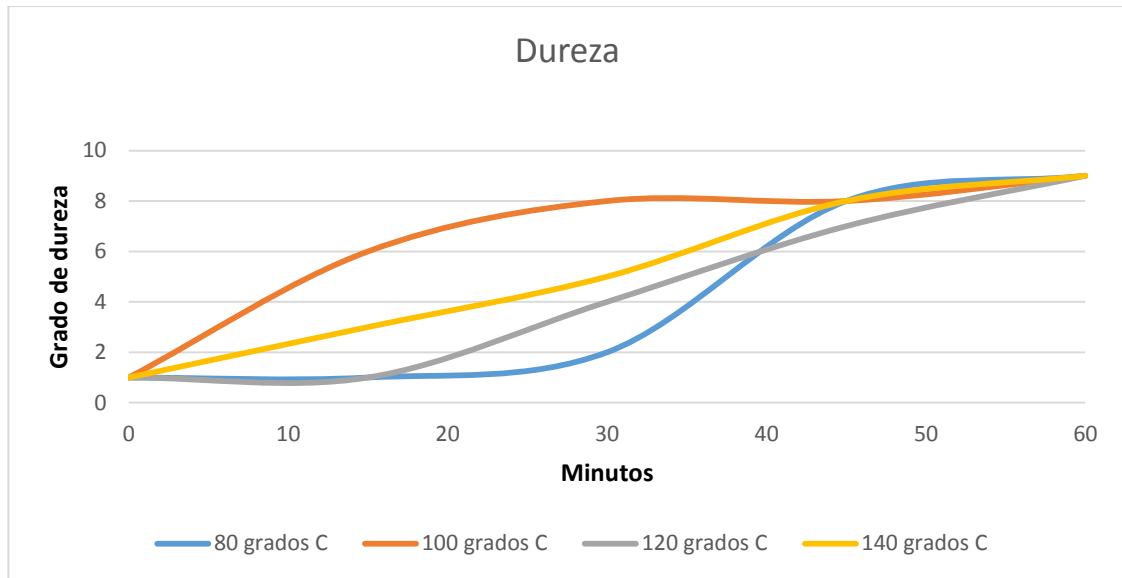


Figura N° 25. Dureza de la pintura por temperatura y tiempo de horneado

Los experimentos realizados mostraron una variación de la dureza con un comportamiento similar en las placas horneadas a 80°C, 100°C y 140°C como se observa en la **Tabla N° 15**, pues se eleva de forma continua hasta alcanzar un grado de dureza de entre 7 y 8 puntos a los 45 minutos de horneado. A los 60 minutos de horneado el grado de dureza de las cuatro placas fue 9, sin embargo, la placa sometida a 100°C mostró un comportamiento irregular pues tuvo una elevación a un grado de dureza 8 a los 30 minutos de horneado como muestra la Figura N° 25, mucho más rápido que el resto de placas.

Si se toma en cuenta los datos de una placa de pintura secada al aire libre se observa lo siguiente:

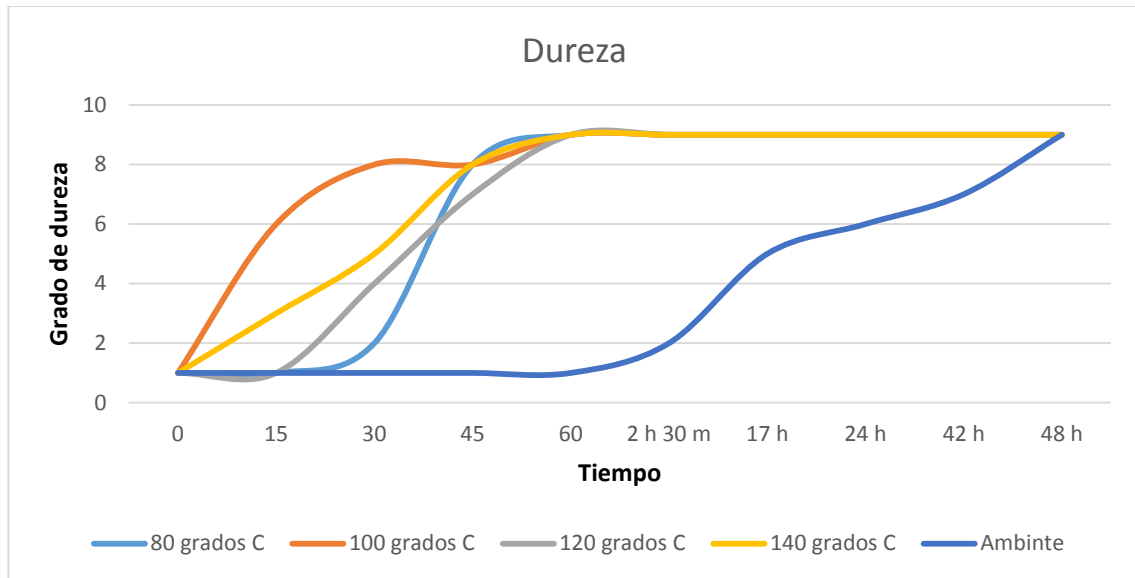


Figura N° 26. Dureza de la pintura horneada y ambiente

Se observa como el comportamiento de las placas al horno es muy similar y todas alcanzan una dureza de 9 al cabo de 60 minutos. Como muestra la Figura N° 26 la placa a temperatura ambiente eleva su dureza a un grado 5, 17 horas después de pintada y recién a las 48 horas alcanza una dureza de grado 9.

3.3.3 Medición de la variación en brillo, saturación y tono.

Para la medición del brillo, saturación y matiz se realizaron fotografías de registro de cada placa al momento de realizar la prueba con el raspado de lápices. Las fotografías se analizaron con el software procesador de imágenes Photoshop® el mismo que devuelve los resultados aproximados de brillo, saturación y matiz del color de la placa en una escala entre 1 y 255.

Aunque luzcan similares los tres aspectos mencionados componen el modelo de color llamado HSB (Hue, Saturation, Brightness) por sus siglas en inglés. En el estudio es

relevante analizar como el tipo de horneado modifica estos aspectos para el acabado final.

3.3.4 Variación en brillo

Brillo: es la capacidad de reflexión que tiene una superficie según la cantidad de color que se refleja y que la vista percibe. Por ejemplo, una pintura verde brillante refleja una gran cantidad de la luz que recibe por tanto aporta más color al matiz verde. [24]

La variación del brillo se mide en una escala de 0 a 255 según muestra la **Tabla N° 16**:

Tabla N° 16. Escala de brillo

←Brillo nulo		Brillo medio			Máximo brillo→	
0	1	2...	127/128	...253	254	255

Tabla N° 17. Variación en brillo

Brillo (0-255)						
Placa	Temp.	0 min	15 min de horneado	30 min de horneado	45 min de horneado	60 min de horneado
001	80 °C	174	160	152	163	160
002	100 °C	163	156	164	158	152
003	120 °C	185	169	163	164	157
004	140 °C	173	160	158	163	159

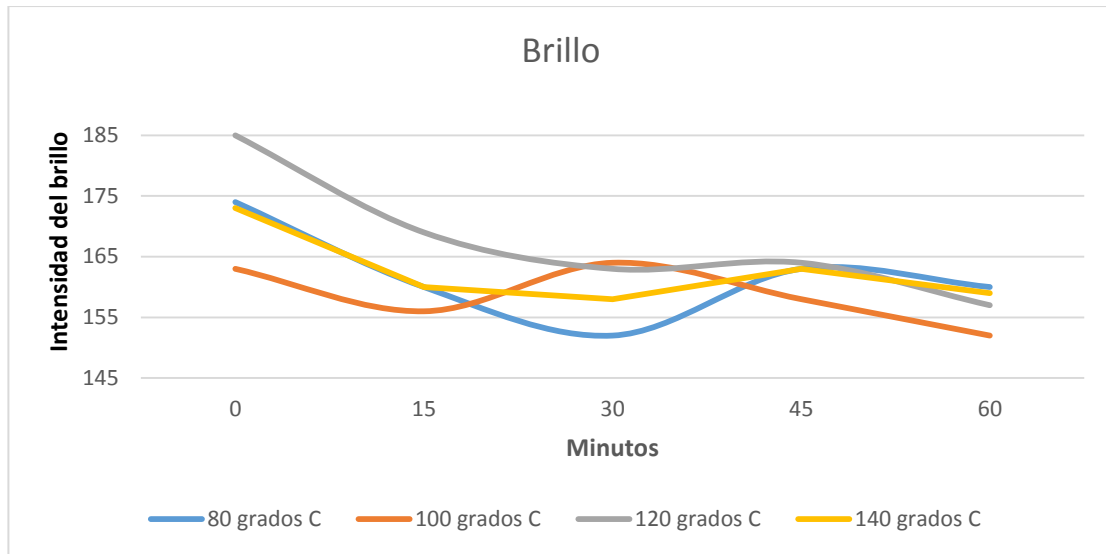


Figura N° 27. Variación en brillo

Como muestra la **Tabla N° 17** la variación obtenida en los experimentos muestra que el brillo disminuyó en todos los casos, en comparación con el brillo inicial. En las placas el brillo a los 15 minutos de horneado estaba aproximadamente en los 155-170 puntos y tuvo un comportamiento muy similar en las placas colocadas a 80°C, 120°C y 140°C, pues disminuyó hasta los 30 minutos para luego estabilizarse a casi el mismo nivel de brillo cerca de los 45 minutos y luego disminuir levemente a los 60 minutos. La variación es mínima pues se mueve entre la escala un máximo de 10 puntos (en una escala de 255 puntos).

Por otro lado, es importante considerar el comportamiento diferente que tiene la placa sometida a 100°C como se observa en la Figura N° 27, comportamiento que también es observado en la prueba de dureza, donde la placa alcanzó la dureza de 8 /10 a los 30 minutos. En este caso la placa obtuvo una elevación del brillo a los 30 minutos contraria a la obtenida en otras placas, para luego disminuir por debajo del brillo alcanzado en las placas sometidas a 80°C, 120°C y 140°C.

3.3.5 Saturación

Saturación: es el predominio de un color en relación a los complementarios. Por ejemplo, un azul muy saturado no tiene otros colores en su composición. Un azul verdoso tiene menor predominio al tener también amarillo. [24]

En la escala los valores cercanos a 1 indicaran un predominio muy bajo del matiz, cercanos a 255 un predominio muy alto, es decir colores pastel o muy apagados frente a colores muy fuertes, como señala la **Tabla N° 18**.

Tabla N° 18. Escala de saturación

←Predominio nulo del color		Saturación media			Predominio máximo del color→	
0	1	2...	127/128	...253	254	255

Tabla N° 19. Variación en saturación

Saturación (0-255)						
Placa	Temp.	0 min	15 min de horneado	30 min de horneado	45 min de horneado	60 min de horneado
001	80 °C	12	5	6	8	4
002	100 °C	6	5	9	7	19
003	120 °C	3	8	13	13	15
004	140 °C	4	16	19	23	22

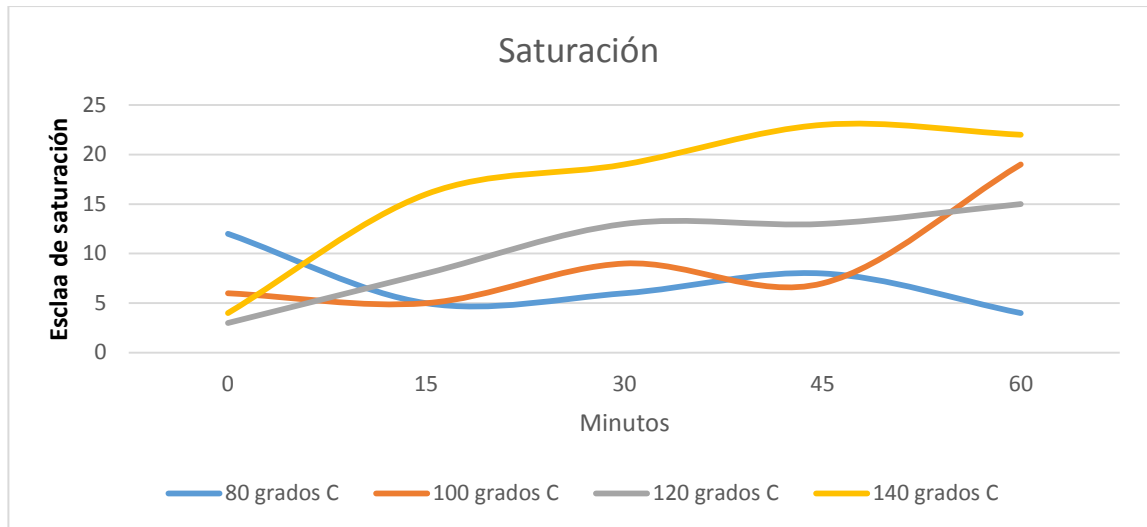


Figura N° 28. Variación en la saturación

Como muestra la **Tabla N° 19** la saturación tuvo un comportamiento diferente entre la placa horneada a 80°C y el resto de placas. En el primer caso, la saturación disminuyó levemente de 12 a 4; mientras que en el resto de casos la saturación aumentó de 6 a 19 en 1 hora de horneado en la placa sometida a 100°C, en la placa de 120°C de 3 a 15 y en la placa sometida a 140°C de 4 a 22, lo cual se observa en la Figura N° 28. Al igual que con el brillo la variación es muy baja y no es perceptible a simple vista, pero el software reconoce una disminución. No obstante, en el caso de la saturación fue muy baja en todos los casos al trabajar con pintura blanca.

3.3.6 Variación en matiz

El matiz es el tipo de color, la tinta del objeto en sí. En este caso el matiz es el color base de la pintura, o la variación en la misma. Por ejemplo, rojo oscuro, rojo claro, son todos matices del rojo; naranja claro, café, son matices del naranja.

A diferencia de la escala de brillo y saturación, la escala de Matiz se traduce en un círculo cromático como el de la Figura N° 29, siendo el 0 y el 255 el mismo punto. En el software utilizado este punto es el azul puro. Entre 0 y 127 se tienen tonos cálidos, mientras que entre 127 y 255 se tienen tonos fríos. Como muestra el siguiente gráfico:

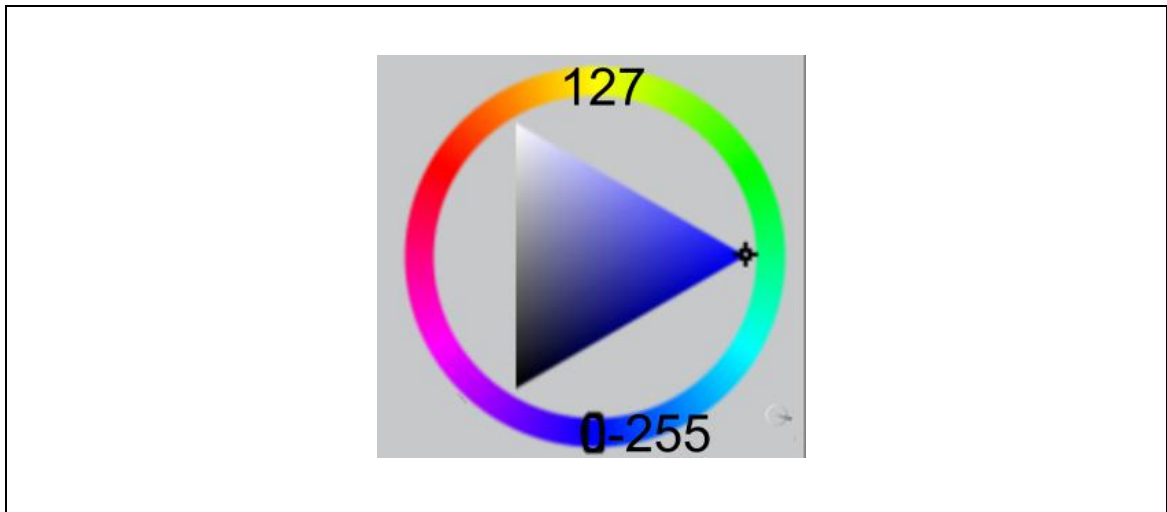


Figura N° 29. Círculo cromático en Photoshop

Por lo cual, un tono varía hacia los tonos vecinos si existe una variación en su valor como indica la **Tabla N° 20**.

Tabla N° 20. Escala para medir variación en matiz

← Movimiento contrario a las agujas del reloj en el círculo cromático			Color base	Movimiento en el sentido de las agujas del reloj en el círculo cromático →		
X-N	X-2	X-1	X	X+1	X+2	X+N

Tabla N° 21. Variación en el matiz

Matiz (0-255)						
Placa	Temp.	0 min	15 min de horneado	30 min de horneado	45 min de horneado	60 min de horneado
001	80 °C	230	181	145	135	156
002	100 °C	136	192	213	213	222

003	120 °C	170	135	128	128	128
004	140 °C	156	128	122	122	122

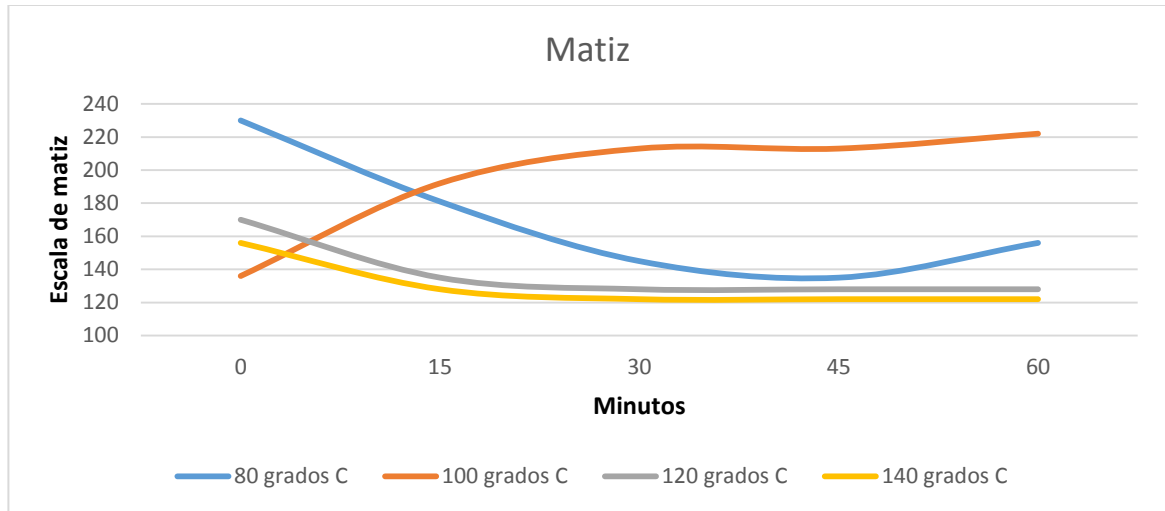


Figura N° 30. Variación en el matiz

La variación en matiz debe interpretarse, no tanto por el valor obtenido, sino por la variación del mismo. Como muestra la **Tabla N° 20** el tono blanco con el que se pintó las placas obtuvo una saturación muy baja y un matiz que rodeó entre los 130 y 170 puntos según las placas sometidas a 100°C, 120°C y 140°C (es decir un matiz más cálido cercano al amarillo o verde) y de 230 puntos en la placa sometida a 80°C (con un matiz más cercano al azul), pero que al tener una saturación por menor a 25 es interpretada por el ojo humano como blanco.

A partir de los valores iniciales se tiene que la placa sometida a 80°C paso de 230 a 156, lo que indica una coloración hacia un matiz verdoso. En el caso de la placa sometida a 100°C pasó de un matiz inicial de 136 (amarillo verdoso) a 222 (celeste) a los 60 minutos de horneado. La placa horneada a 120°C pasó de un matiz inicial de 170

(verde) a un matiz de 128 (amarillo) y la placa horneada a 140°C también pasó de un matiz de 156 (verde) a 122 (amarillo) como indica la Figura N° 30.

Existe un punto adicional a considerar que afectó la medición del matiz y es la luz ambiental o la variación de la misma durante el tiempo en que se efectuó el horneado de las placas o la preparación de la pintura; no obstante la variación es muy baja para ser percibida a simple vista, con excepción de la placa sometida a 140°C, pues en esta aumentó la saturación a un punto lo suficientemente fuerte como para ser perceptible una pintura amarillenta, debido a la pigmentación quemada como resultado del proceso de horneado.

3.3.6.1 Comparación del espesor final de la capa de pintura

El espesor final de la placa pintada se midió mediante el apoyo de un equipo de medición. Los resultados finales de las placas, tal como muestra la Figura N° 31, indican que el espesor final es inversamente proporcional a la temperatura, por tanto, la placa horneada a 80°C tiene un espesor de 5,04 micras, la placa sometida a 100°C tiene un espesor de 4,56 micras, la placa a 120°C tiene 4,04 micras y la placa a 140°C tiene 4 micras.

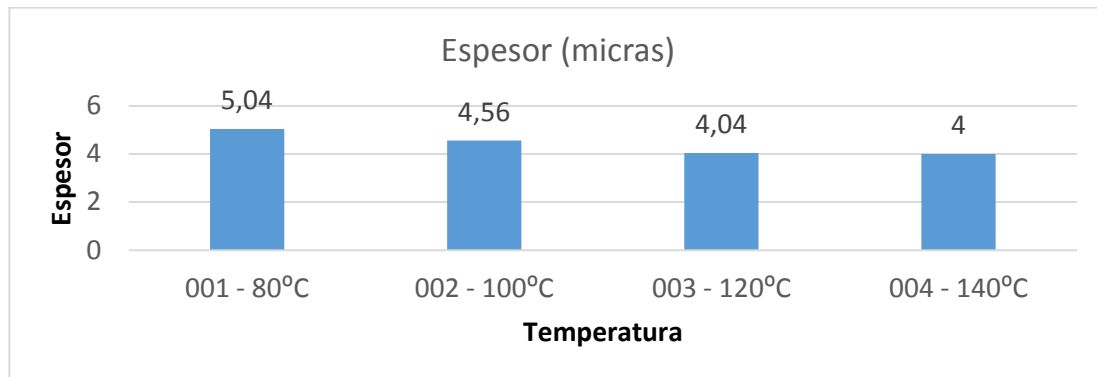


Figura N° 31. Espesor final de las placas

Si bien al cabo de 60 minutos las cuatro placas alcanzaron un mismo grado de dureza el espesor de la placa pintada es menor mientras más temperatura es utilizada en el proceso de secado; esto se debe a una deshidratación más rápida de los componentes acuosos de la pintura antes de producirse el secado.

A continuación, se presenta la ecuación calculada para el espesor de la pintura y el coeficiente de determinación obtenido en la Figura N° 32:

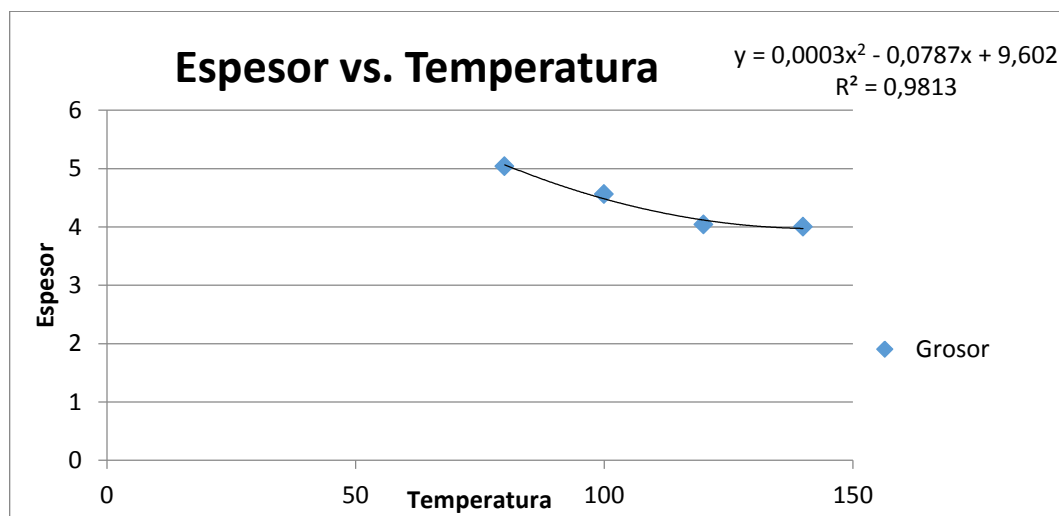


Figura N° 32. Espesor vs. Temperatura

El coeficiente de determinación permite establecer la relación entre la variación de dos variables, espesor y temperatura. El valor obtenido fue de 0,98 lo que indicaría que la correlación entre ambas variables es significativa y a medida que varía uno de los factores, la temperatura, varía también el espesor de la capa de pintura al secarse.

Conclusiones

El proceso de secado de pintura actual en los juegos infantiles de la Empresa *El Mundo de los Juegos* se realiza al aire libre, con un tiempo promedio de 19 horas, que se extiende con frecuencia si disminuye la intensidad del viento y la temperatura al ambiente.

La Empresa *El Mundo de los Juegos* pierde aproximadamente 18 horas en el secado actual, en comparación con el tiempo que tomaría el secado mediante horno. Al ambiente se obtiene una dureza de grado 6 en 18 horas, frente a una dureza de grado 9 en 60 minutos de secado al horno, El ahorro de tiempo facilitaría la entrega rápida al cliente y disponer con más frecuencia de los espacios destinados para secado.

El secado al horno logra una dureza de grado 9 a los 60 minutos de curado, que se alcanza al aire libre en 48 horas, por lo cual, la optimización de tiempos en la Empresa *El Mundo de los juegos* es de un 98 % mediante la implementación de un horno de secado.

El secado a temperaturas de 120 y 140 °C alteró la saturación y el matiz, amarillando la pintura. Al secar la placa se a considerando el tiempo, la dureza y el acabado, obteniendo que la mejor temperatura para el secado de la pieza es de 100 °C al no sufrir afectación y lograr el mismo grado de resistencia a la abrasión después de una hora de curado.

En cuanto al espesor de la capa de pintura esta es menor, mientras más elevada es la temperatura, asemejándose a la siguiente ecuación: $y = 0,0003x^2 - 0,0787x + 9,602$ donde “y” es el espesor en micras y “x” es la temperatura en °C.

Recomendaciones

Se recomienda la utilización del secado mediante horno debido al poco tiempo que requiere el secado de la pintura, pues oscila entre 45 y 60 minutos; no obstante, se observó que al utilizar una temperatura máxima de 100°C se alcanzaba la misma dureza de la pintura que en temperaturas más allá de los 120°C, sin afectar el matiz (pigmentación) ni la saturación de la pintura. En cuanto al espesor, al manejarse una temperatura de 100°C la disminución fue menor a la que se obtuvo con el secado a más de 120°C, lo que permitiría que la capa de pintura proteja a la pieza metálica de golpes más fuertes o cortes más profundos.

Se recomienda la implementación, en el horno de secado, de equipos de circulación de aire, que faciliten la transferencia de calor por convección y de esta forma agilizar el tiempo de secado sin aumentar la temperatura a niveles que afecten la pigmentación.

Las pruebas se realizaron mediante la utilización de un horno eléctrico; sin embargo la empresa optaría por la construcción de un horno de secado a gas, lo cual sería una alternativa factible siempre y cuando la optimización de tiempos eleve la velocidad de producción y esto se traduzca en una mejora de la rentabilidad de la Empresa.

Lista de referencias

- [1] E. Scheweigger, Manual de Pinturas y Recubrimientos plásticos, Madrid: Díaz de Santos, 2005.
- [2] G. Nonhebel y A. Moss, El secado de sólidos en a Industria Química, Barcelona: Editoria Reverte, S.A., 2002.
- [3] K. Rolle, Termodinámica, Máxico D.F.: Pearson Educación, 2006.
- [4] V. Hopp, Fundamentos de tecnología química para formación profesional, España: Editorial Reverte, 1994.
- [5] J. Escobar, Estudio de Factibilidad para renovación de tecnología en hornos de curado de pintura electrostática en la industria de elevadores, Medellín: Universidad EAFIT - Departamento de Ingeniería Mecánica, 2009.
- [6] J. Portalanza, Diseño y Construcción de un cuarto de secado de pintura electrostática para tableros eléctricos combinando energía renovable y no renovable, Quito: Escuela Politécnica Nacional, 2014.
- [7] P. Urda, El tuning en el embellecimiento y personalización de vehículos, Madrid: Editorial Parainfo, 2008.
- [8] T. Gómez, Protección de Superficies, Madrid: Editorial Parainfo, 2013.

- [9] J. Calvo, Pinturas y recubrimientos: Introducción a su tecnología, Madrid: Díaz de Santos, 2011.
- [10] Y. Cengel y M. Boles, Termodinámica, 7ma ed., México: McGraw Hill, 2012.
- [11] F. Incropera y D. De Wit, Fundamentos de Transferencia de Calor, México: Prentice Hall, 1999.
- [12] Y. Cengel y A. Ghajar, Transferencia de calor y masa. Fundamentos y aplicaciones, 3ra ed., México D.F.: McGraw Hill, 2011.
- [13] A. Foust, L. Wenzel, C. Clump, L. Maus y B. Andersen, Principios de Operaciones Unitarias, 2da ed., México: Compañía Editorial Continental, 2006.
- [14] B. Karlekar y R. Desmond, Transferencia de calor, México: McGraw Hill, 1994.
- [15] J. Aguirre, Sustitución de pintura al alcohol por pintura base agua en el proceso de pintado de moldes de fundición mediante la aplicación de tecnología de secado por aire deshidratado, Pamplona: Universidad de Navarra, 2011.
- [16] C. Giudice y A. Pereyra, «Control de calidad de películas de pinturas,» 2009. [En línea]. Available: <http://www.frlp.utn.edu.ar/materias/protecmat/calidad.pdf>.
- [17] C. Bernal, Metodología de la investigación, México: Pearson Educación, 2006.
- [18] M. Gómez, Introducción a la metodología de la investigación científica, Madrid: Editorial Brujas, 2006.
- [19] L. Bilurbina y F. Liesa, Corrosión y protección, Madrid: Universidad Politécnica

de Catalunya, 2004.

- [20] S. Burbano de Ercilla y C. Gracia, Física General, Madrid: Editorial Tebar, 2003.
- [21] P. Allen y G. Mosca, Física para la ciencia y la tecnología, Madrid: Editorial Reverte, 2005.
- [22] «Capacidad térmica específica y capacidad térmica,» 2015. [En línea]. Available: http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/MATERIALDIDACTICOCAPACIDADTERMICA_15350.pdf. [Último acceso: 2016].
- [23] A. Senner, Principios de electrotecnia, Editorial Reverte, 1994.
- [24] M. Zagrobelna, «Las bases del color: el sombreado,» 28 Mayo 2014. [En línea]. Available: <https://design.tutsplus.com/es/articles/color-fundamentals-shading--cms-20549>.
- [25] D. Rodriguez, P. Remedios y J. Gil, «Racionalización del consumo energético en horno de secado de pintura en polvo,» 2015. [En línea]. Available: <http://www.eumed.net/rev/tlatemoani/18/horno.html>.
- [26] H. Gil, Pinturas y Guarnecidos Interiores, España: Grupo Editorial Ceac S.A., 2008.
- [27] J. Holman, Transferencia de Calor, España: McGraw-Hill/Interamericana, 1998.
- [28] J. Gracia, J. García, T. Gómez, J. Navarro y E. Águeda, Igualación y preparación de superficies, Madrid: Ediciones Parainfo, SA, 2013.

[29] UNE, UNE 23727:1990, Ensayos de reacción al fuego de los materiales de construcción. Clasificación de los materiales utilizados en la construcción., AENOR, 1990.

Anexos

Anexo 1: Flujogramas del proceso

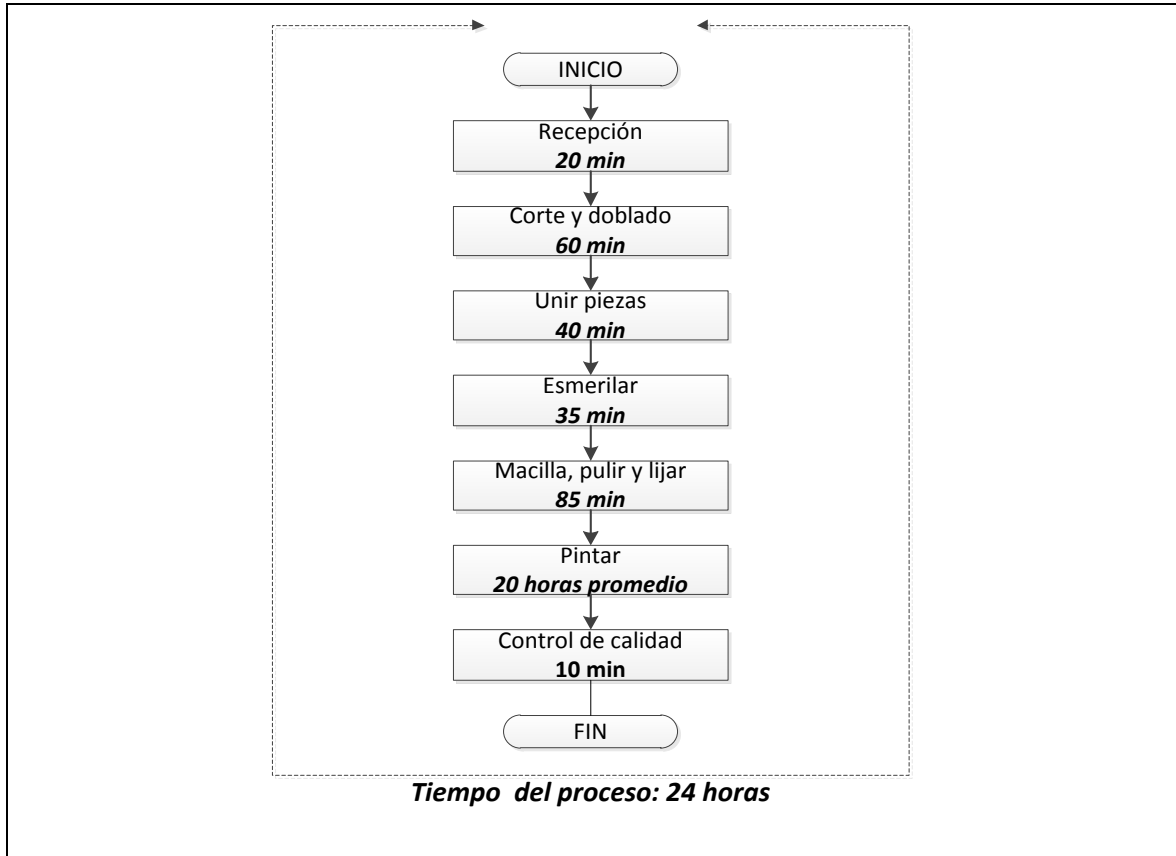


Figura N° 33. Proceso de producción de una resbaladera.

Tabla N° 22. Cursograma analítico del proceso de recepción de material

Proceso:		Resumen	
Proceso de recepción de placas y tubos de acero	Operación:	●	1
	Transporte:	➔	1
	Espera:	D	
	Inspección	■	
	Almacenamiento:	▼	1
Operarios:	2	TOTAL	3

Descripción	Cantidad	Distancia	Tiempo	Símbolo	Observaciones
-------------	----------	-----------	--------	---------	---------------

				●	■	➔	D	▼	
Desembarcar		5 metros	10 min						
Almacenar			5 min						
Recibir el material			5 min						
TOTAL			20 min						

Tabla N° 23. Cursograma analítico del proceso de corte y doblado

Proceso:		Resumen	
Proceso de Corte y doblado de las planchas y tubos de acero		Operación:	● 4
		Transporte:	➔ 0
		Espera:	D 0
		Inspección:	■ 0
		Almacenamiento:	▼ 0
Operarios:	2	TOTAL 4	

Descripción	Cantidad	Distancia	Tiempo	Símbolo					Observaciones
				●	■	➔	D	▼	
Colocar sobre entenalla			10 min	●					
Cortar			20 min	●					
Colocar en dobladora			10 min	●					
Realizar dobléz			20 min	●					
TOTAL			60 min						

Tabla N° 24. Cursograma analítico del proceso de unión de piezas

Proceso:		Resumen	
Proceso de unión de piezas de acero		Operación:	● 2
		Transporte:	➔ 0
		Espera:	D 0
		Inspección:	■ 0
		Almacenamiento:	▼ 0
Operarios:	2	TOTAL 2	

Descripción	Cantidad	Distancia	Tiempo	Símbolo					Observaciones
				●	■	→	D	▼	
Estrechar piezas			10 min	●					
Soldar			30 min	●					
TOTAL			40 min						

Tabla N° 25. Cursograma analítico del proceso de esmerillado

Proceso:		Resumen	
Proceso de esmerillado de las monturas de suelda		Operación:	● 1
		Transporte:	→ 1
		Espera:	D 0
		Inspección	■ 0
		Almacenamiento:	▼ 0
Operarios:	2	TOTAL	2

Descripción	Cantidad	Distancia	Tiempo	Símbolo					Observaciones
				●	■	→	D	▼	
Colocar estructura en soportes		1 m	5 min			●			
Alisar monturas de suelda			30 min	●					
TOTAL			35 min						

Tabla N° 26. Cursograma analítico del proceso de masillado, pulido y lijado

Proceso:		Resumen	
Proceso de masillado, pulido y lijado de la resbaladera		Operación:	● 3
		Transporte:	→
		Espera:	D
		Inspección	■
		Almacenamiento:	▼
Operarios:	2	TOTAL	3

Descripción	Cantidad	Distancia	Tiempo	Símbolo					Observaciones
				●	■	→	D	▼	
Preparar masilla			10 min	●					
Cubrir fallas y hendiduras			30 min	●					
Alisar monturas de masilla			45 min	●					
TOTAL			85 min						

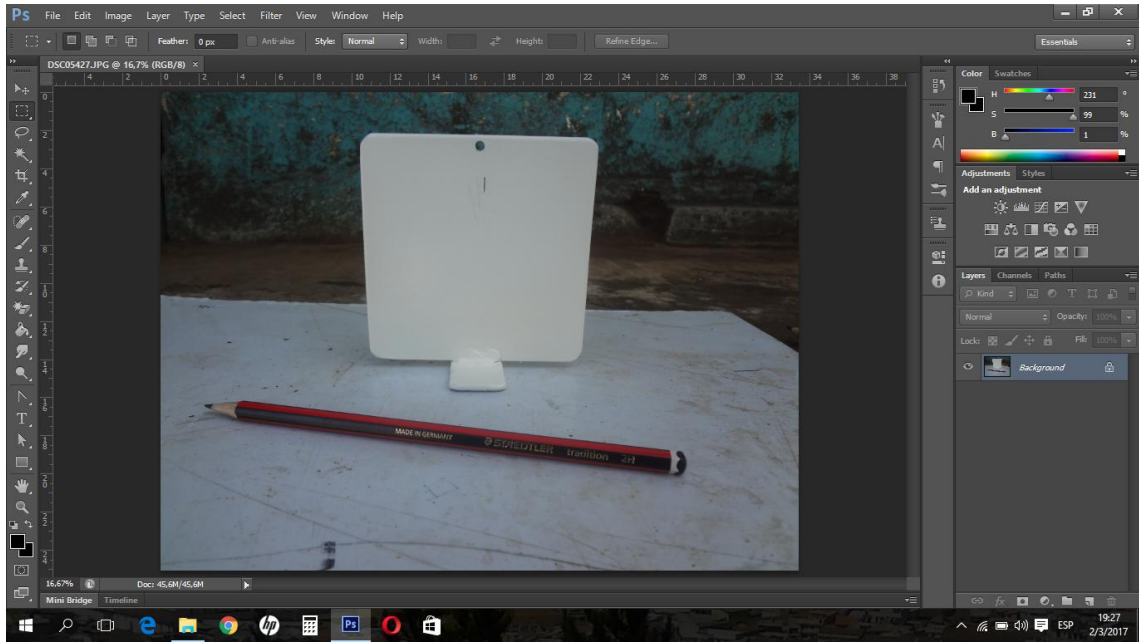
espacio cerrado										promedio
Transportar estructura a área abierta		10 m	5 min							
Verificar partículas o rastros de polvo			5 min							
Esperar secado			18 h							Tiempo promedio
Realizar prueba de secado superficial			1 min							
Realizar limpieza superficial			10 min							
Proteger estructura			30 min							
Almacenar estructura			5 min							
TOTAL			19 h							

Anexo 2: Fotografías de la toma de mediciones



Medición de dureza de la pintura





Medición de saturación y brillo