

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y TEXTIL**



TESIS

**“ESTUDIO Y APLICACIÓN DE
RESINAS Y ADITIVOS INORGÁNICOS
COMO RETARDANTES AL FUEGO EN MADERAS”**

**PARA OBTENER TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO QUÍMICO**

ELABORADO POR

**ENRIQUE ALEJANDRO, ARTEAGA MEDINA
JAVIER MIGUEL, PICASSO GARAYCOCHEA**

ASESOR

M. Sc. Ing. WALTER FERNANDO ZALDÍVAR ÁLVAREZ

LIMA- PERÚ

2018

DEDICATORIA

Dedicamos este trabajo principalmente a Dios, por habernos dado la vida y permitirnos haber llegado hasta este momento tan importante de nuestra formación profesional. A nuestros seres queridos y familiares, por ser los pilares más importantes y por demostrarnos siempre su cariño y apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios por todos y cada uno de esos seres que de una u otra forma, han contribuido con la formulación de este trabajo de investigación, gracias a nuestros padres por haber hecho de nosotros lo que somos.

Al Ingeniero magister. Walter Zaldivar Álvarez con admiración y respeto por sus capacidades, conocimientos, las cuales nos transmitió y permitieron guiarnos para la realización de este trabajo de investigación.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo principal determinar experimentalmente la efectividad de los aditivos retardadores de llama inorgánicos (trihidrato de aluminio y óxido de antimonio) siguiendo la norma ASTM 1360-98.

Determinando el retardo al fuego de las maderas capirona y tornillo, al aplicarse el recubrimiento con las resinas poliéster, poliuretano y silicona, sin aditivos retardadores al fuego; así con las resinas mencionadas antes con aditivo retardadores al fuego, como el Trihidrato de Aluminio y Óxido de Antimonio juntos, en tres diferentes concentraciones.

Se comprobó cual madera, resina y que porcentaje de aditivo es el que más protegió a la madera capirona y tornillo ante la propagación del fuego y la propagación del humo.

Los resultados obtenidos fueron analizados siguiendo un modelo de probabilidad de distribución normal, demostrando también que el índice de carbonización de la capirona con resinas (Poliuretano, Silicona y Poliester) es inferior al de las muestras de madera tornillo. A una mayor concentración de aditivo retardante al fuego; menor es el índice de carbonización en las muestras analizadas. Se recomienda aplicar el estudio a un mayor tipo de muestras de madera.

ABSTRACT

The main objective of this research work is to experimentally determine the effectiveness of inorganic flame retardant additives (aluminum trihydrate and antimony oxide) following the ASTM 1360-98 standard. Determining the fire retardancy of the capirona and screw woods, when applying the coating with the resins: polyester, polyurethane and silicone, without fire retardant additives; thus with the resins mentioned before with fire retardant additive, such as aluminum trihydrate and antimony oxide together, in three different concentrations.

Check which wood, resin and what percentage of additive is the one that most protected the capirona wood and screw before the propagation of the fire and the propagation of the smoke. The results obtained were analyzed following a normal distribution probability model, Also showing that the rate of carbonization of the capirona with resins (Polyurethane, Silicone and Polyester) is lower than that of the samples of screw wood. At a higher concentration of flame retardant additive; lower is the carbonization index in the samples analyzed. It is recommended to apply the study to a larger type of wood samples.

PRÓLOGO

Los accidentes causados por los incendios son una de las problemáticas que requieren una gran atención en lo que se refiere a la implementación de medidas de protección contra incendios en los edificios e inmuebles y demás bienes con el propósito fundamental de salvar vidas humanas, además de reducir las pérdidas económicas producidas por la acción del fuego.

En este sentido resulta interesante y pertinente estudiar las sustancias químicas empleadas como retardantes que se agregan y reaccionan con materiales combustibles para disminuir el efecto del fuego, así estas sustancias retardantes se aplican a diferentes materiales tales como: polímeros, madera, papel, textiles, estructuras metálicas, entre otras, con la finalidad de prevenir la generación de incendios. Otro aspecto importante que se debe considerar es el cumplimiento de las normas de seguridad establecidas y que los distintos materiales utilizados como retardante sean sometidos a pruebas bajo estándares nacionales e internacionales.

Por ello, en el siguiente trabajo se pretende realizar una investigación de tipo experimental empleando como aditivos retardadores de llama inorgánicos, el trihidrato de aluminio y el óxido de antimonio, aplicando como método de estudio la norma ASTM 1360-98, que consiste en la determinación del índice de carbonización (cm^3). Se emplearon muestras de madera Capirona y Tornillo con recubrimientos de silicona, poliéster y poliuretano, con y sin la adición del agente retardante. Sometiendo los resultados obtenidos a un análisis estadístico para determinar su reproducibilidad, dispersión y ajuste a una distribución del tipo normal.

ÍNDICE

PORTADA	1
DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
RESUMEN	4
ABSTRACT	5
PRÓLOGO	6
ÍNDICE	7
CAPÍTULO I	10
INTRODUCCIÓN	10
1.1 Generalidades	10
1.1.1 Mecanismo fisicoquímico de los retardantes al fuego	10
1.1.2 Dilución del material combustible.....	11
1.1.3. Generación de gas no combustible	11
1.1.4 Fase gaseosa, inhibición de radicales libres	12
1.2 Problemática (Realidad Problemática)	13
1.2.1 Antecedentes del problema	17
1.3 Objetivos e Hipótesis	18
1.3.1 Objetivo general.....	18
1.3.2 Objetivos específicos.....	18
1.3.3 Hipótesis general	19
CAPÍTULO II	20
FUNDAMENTO TEÓRICO	20
2.1 Bases teóricas.....	20
2.1.1 Definición de retardantes de llama	20
2.1.2 Mecanismo de retardador de llama.....	21
2.1.3. Acción de los retardantes de llama	22
2.1.4. Comportamiento de los Retardantes de llama:	23
2.1.5 Tipos de retardantes.....	23
2.1.6. Polímeros.....	26

2.1.7 Las Resinas como revestimiento	27
CAPÍTULO III	28
DESCRIPCIÓN DE LAS MATERIAS PRIMAS	28
3.1 Madera y Fuego	28
3.1.1 Madera Tornillo	30
3.1.1.1 Características de la Especie.....	31
3.1.1.2 Características de la Madera.....	31
3.1.1.3 Características Tecnológicas.....	32
3.1.1.4 Recomendaciones Técnicas.....	32
3.1.2. Madera Capirona	32
3.1.2.1 Características de la Madera.....	33
3.1.2.2 Características Tecnológicas.....	33
3.1.2.3 Propiedades Físicas.....	34
3.1.2.4 Recomendaciones técnicas.....	34
3.2 La alúmina	34
3.3 Aluminios hidratados	35
3.4 Antimonio y óxido de antimonio (Sb ₂ O ₃).....	35
3.5 Resinas	36
3.5.1 Resina de Poliéster.....	37
3.5.2 Resina de Poliuretano.....	38
3.5.3 Resina de Silicona	39
CAPÍTULO IV	41
PARTE EXPERIMENTAL	41
4.1 Metodología experimental	41
4.1.1 Determinacion de las masas de las Resinas de Poliester, Poliuretanos y Siliconas solas sin aditivo, masa del aditivo (Trihidrato de Aluminio y Oxido de Antimonio) y su porcentaje en masa.....	45
4.2 Montaje Experimental y Pruebas Realizadas	48
4.3 Resultados experimentales.....	55
CAPÍTULO V	84
ANÁLISIS DE COSTO BENEFICIO	82

CONCLUSIONES	90
RECOMENDACIONES	91
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	92
ANEXOS	95

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Generalidades

El retardo al fuego es un proceso por el cual la degradación normal o los procesos de combustión de los materiales, como los polímeros, se han alterado mediante la adición de ciertos productos químicos. Los polímeros exhiben resistencia a la descomposición por estrés térmico cuando se mide mediante pruebas estándar. El grado de resistencia a la inflamabilidad, generalmente se define por un valor numérico que mide la mayor resistencia a la llama o al fuego, que el polímero no modificado. Los resultados de estas pruebas no deben usarse exclusivamente para predecir el rendimiento en un incendio real, aunque son una guía para seleccionar materiales. Los materiales con retardo de llama pueden formularse para que sean más resistentes a la ignición, que los materiales sin retardo de la llama, o para tener tasas de propagación del fuego más lentas en un incendio mayor que se inicia por alguna otra fuente.

1.1.1 Mecanismos fisicoquímicos de los retardantes al fuego

Una comprensión básica de las diferentes teorías que explican la función de los retardantes de fuego, es esencial para identificar y seleccionar el material óptimo para cualquier situación dada. Se pueden usar muchos materiales alternativos, y los costos del rendimiento, a menudo determinan la elección. Los retardantes al fuego funcionan por su interacción o interferencia con uno de los tres componentes presentes de un incendio:

- 1) Una sustancia combustible.
- 2) Calor, suministrado externamente o desde el proceso de combustión en sí.
- 3) Un gas oxidante, principalmente oxígeno.

1.1.2 Dilución del material combustible

La reducción de la cantidad total de materia combustible mejora el retardo global de la llama. Por ejemplo, agregar rellenos, como arcillas, a sistemas de polímeros

(a menudo 50 - 200 partes en masa por 100 partes de polímero) reduce la inflamabilidad. Sin embargo, en algunos casos, como los compuestos reforzados con fibra de vidrio, la fibra de vidrio endurece el polímero. Al exponerse al calor o una llama, el vidrio puede evitar que el polímero se derrita lejos de la llama; por lo tanto, el material arde. Además, el vidrio puede actuar como un disipador de calor por lo que se requiere menos energía para encender el polímero en una segunda exposición al calor.

1.1.3. Generación de gas no combustible

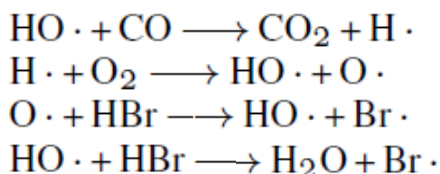
Algunos materiales se descomponen cuando se calientan, generando gases no combustibles. Estos gases reducen la concentración de oxígeno en la parte delantera de la llama y, a menudo, provocan la inhalación de llamas debido a la falta de oxígeno. Este resultado es transitorio porque una vez que el material se descompone, la materia residual actúa como un diluyente incombustible de la matriz polimérica. Un ejemplo de este tipo de retardante al fuego es el carbonato de calcio que se descompone a 825 °C para generar el sólido óxido de calcio y el gas, dióxido de carbono; estos productos no son compatibles con la combustión. Sin embargo, no se recomienda el uso de carbonato de calcio con retardantes al fuego bromados. El carbonato de calcio y su producto de descomposición más alcalina, el óxido de calcio, absorbe el bromuro de hidrógeno que se libera de los retardantes al fuego bromados, para formar especies inactivas, como el bromuro de calcio.

Algunos materiales se descomponen para producir vapor de agua, gas no combustible. El calor es absorbido por la descomposición y la vaporización del agua líquida. El trihidrato de óxido de aluminio ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) comienza a descomponerse a 230° C con la liberación del 34,5% en masa de su masa original en forma de vapor de agua. El hidróxido de magnesio, u óxido de magnesio hidratado, comienza a descomponerse a 340° C con la liberación del 31% en masa de la masa

original en forma de agua. Para el procesamiento de polímeros a temperatura elevada, la mayor temperatura de descomposición del hidróxido de magnesio lo hace preferible a la alúmina hidratada. Típicamente, 50 - 100 partes en masa de estos compuestos son necesarios por 100 partes de polímero para lograr el retardo de llama.

1.1.4 Fase gaseosa, inhibición de radicales libres

La combustión de hidrocarburos crea fragmentos altamente activos en la fase sólida o condensada. Estos fragmentos se vaporizan, reaccionan con el oxígeno y forman radicales libres. La formación de radicales libres es altamente exotérmica, dando como resultado la volatilización de fragmentos activos adicionales de la fase condensada. El proceso continúa a menos que se interrumpa la formación de radicales libres y se produzcan especies estables. Algunas de las reacciones que pueden ocurrir son las siguientes:

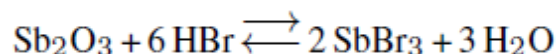


El HBr de los compuestos bromados en descomposición es muy efectivo en la desactivación de radicales libres en la fase de vapor. La formación de nuevos radicales también se reduce a medida que se genera menos calor y se retarda todo el proceso de combustión.

Se conocen compuestos que contienen yodo, pero son de uso limitado como retardantes de llama debido a su escasa estabilidad térmica. El color oscuro de muchos compuestos orgánicos de yodo también es un factor negativo.

El óxido de antimonio actúa como sinérgico con los halógenos, particularmente el cloro y el bromo. Es casi totalmente ineficaz si se usa sin halógeno. El trióxido de antimonio es el material común utilizado, aunque el pentóxido de antimonio también está disponible. El pentóxido de antimonio, tal como se fabrica, generalmente tiene

un tamaño de partícula mucho más fino y es más eficiente por unidad de masa añadida que el trióxido.



La efectividad del halógeno en la inhibición de la formación del radical es a menudo una función de la estructura orgánica a la que está unido. En el polipropileno, un compuesto de bromo cicloalifático es más eficiente a niveles bajos que un compuesto de bromo aromático más estable. Esto se debe a las características de descomposición relativa del compuesto de bromo y el polímero. Sin embargo, con poliestireno de alto impacto modificado con caucho, el compuesto aromático más estable térmicamente es más eficiente.

Por lo general, los compuestos halogenados utilizados en aplicaciones de retardantes de llama contienen cualquiera 40 % - 70% en masa de cloro o 45 % - 80% en masa de bromo.

Se usarán de 20 a 40 partes de compuesto clorado o de 5 a 30 partes de compuesto bromado por cada 100 partes de polímero, dependiendo de los requisitos de retardo de llama. El uso de óxido de antimonio es típicamente del 25% al 50% del material halogenado.

1.2 Problemática (Realidad Problemática)

Los incendios representará una fuente importante de daños a la propiedad, de pérdida de vida y gastos de dinero tanto públicos y privados, por ello desde tiempos remotos el ser humano buscaba la forma de disminuir la inflamabilidad de ciertos materiales. Por ejemplo los Egipcios (450 AC) utilizaban una mezcla de alumbre para reducir la inflamabilidad de la madera, mientras que los Romanos (200 AC) lo hacían con una mezcla de alumbre y vinagre.

Evidentemente el problema del incendio es un problema de todos los días, es una cuestión actual que pueda condicionar nuestra forma de vida como pueden serlo el calor, el frío o el ruido.

En nuestro país han ocurrido estos incendios tales como los ocurridos en Mesa Redonda - Centro de Lima - el sábado 29 de diciembre del 2001 a las 19 h según cifras oficiales; el incendio causó la muerte de 277 personas y la cifra de heridos fue superior a las 500 personas esto causado por productos pirotécnicos.

Otro incendio representativo fue en la discoteca Utopía el 20 de julio del 2002 en el Centro Comercial Jockey Plaza, Surco-Lima causando la muerte de 29 personas. Este fue producido por acercamiento de una antorcha en uno de los aleros del falso techo de madera y a su vez el material plástico con el cual estaban revestidas las columnas del local.

Desde estas fechas, el gobierno peruano toma medidas más exigentes en lo que es la protección contra incendios, siendo INDECI (Instituto Nacional de Defensa Civil), el organismo encargado de la supervisión e inspección de locales públicos y privados.

Esto se ve más adelante con el comunicado presentado por la Presidenta de la Comisión de Inspectores de Seguridad del Consejo Departamental de Lima del Colegio de Ingenieros del Perú, que desde el 2006 en adelante establece que toda edificación debe tener el sistema de aspersores de agua, el cual es el más adecuado y en el caso de los cines, precisó que es fundamental que a las alfombras se les aplique un líquido retardante. “Esto haría que el fuego no se propague tan rápido y permitiría una mayor respuesta del plan de emergencia”.

Otro ejemplo se precisó con el incendio del Teatro Municipal de Lima el 02 de Agosto de 1998, en el cual se dio la Resolución de Alcaldía N° 120 el 28 de Abril del 2009, por el Alcalde Metropolitano de Lima, en el cual en uno de sus párrafos dice: “Que, es necesario designar una comisión Ad Hoc, integrada por connotadas personalidades vinculadas al mundo del arte, educación y la cultura, a fin que sean las encargadas de seleccionar y proponer ante la municipalidad metropolitana de Lima, el tipo de butacas y sillas para el Teatro Municipal que tenga como principal característica, material retardante contra fuego y la elegancia acorde con el estilo del mismo”.

Hoy en día, con el fin de prevenir la generación de incendios y cumplir con las normas de seguridad establecidas, se utilizan sustancias químicas que se agregan o

reaccionan con materiales combustibles para aumentar su barrera retardante hacia el fuego. Así, los retardantes de llama se aplican a materiales tales como: polímeros, madera, papel, textiles, estructuras metálicas, etc.

El retardante al fuego puede definirse como una sustancia incorporada en, o tratamiento aplicado a un material, que suprime o retrasa la combustión del mismo bajo condiciones específicas. Esta definición cubre todas las características de la combustión, es decir, ignición, combustión lenta y propagación de las llamas, liberación de calor, de humo y de gases tóxicos y en consecuencia, incluye acepciones más limitadas como retardante de la llama o supresor de humo.

Ahora bien, la mayoría de los retardantes al fuego son únicamente retardantes a la llama, que en la práctica reducen la facilidad de ignición y de propagación de la llama.

Para entender cómo actúan los retardantes al fuego es necesario conocer previamente, como es el proceso de combustión de los materiales. Los materiales sólidos no se queman directamente, primero se descomponen por la acción del calor (pirólisis) desprendiendo gases inflamables.

Las llamas visibles aparecen cuando los gases inflamables se queman con el oxígeno del aire como se muestra la figura.

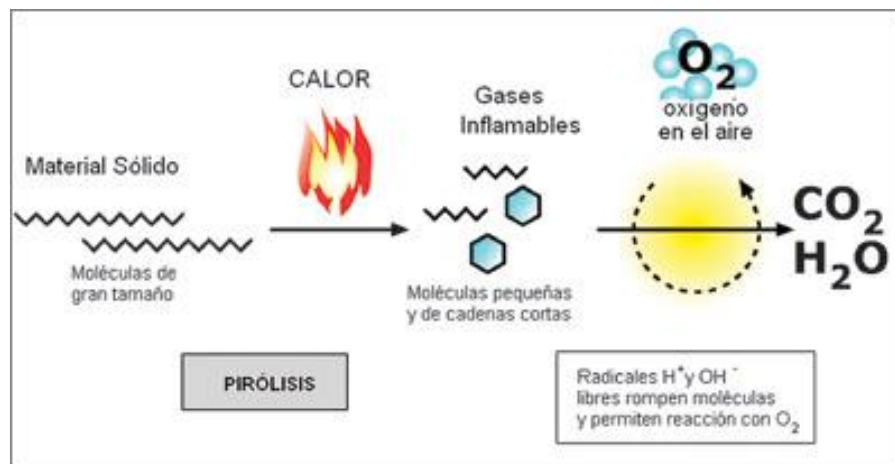


Figura 1.1 Proceso de Combustión de Materiales Sólidos

La llama es mantenida por la acción de radicales (tales como H^+ y OH^-) en la fase gaseosa, los cuales descomponen las moléculas para dar carbono libre; este carbono puede reaccionar con el oxígeno del aire formando dióxido de carbono (CO_2) liberando a su vez calor.

Este proceso es lo que la mayoría denomina la reacción en cadena, lo que en términos de ingeniería química se puede decir que la reacción en cadena es la disociación del combustible en partículas más sencillas (Trujillo Mejía. (12) *El fuego y sus implicaciones en la industria*).

Las estrategias para reducir la inflamabilidad de un material implican interrumpir este proceso tan complejo en una o más de sus etapas, para disminuir la velocidad o cambiar el mecanismo de la combustión en aquel punto.

Los retardantes al fuego interfieren en el proceso de combustión actuando física o químicamente, en la fase sólida o gaseosa, durante uno o más modos de acción y los modos pueden variar de acuerdo con la naturaleza química del material a que es aplicado. El modo de actuación de un retardante no siempre es conocido. En general los mecanismos de retardación al fuego pueden ser clasificados en mecanismos físicos y mecanismos químicos. Teniendo una mayor eficiencia en la retardación a la llama, los mecanismos químicos.

En esta tesis se utilizarán aditivos retardadores de llama inorgánicos tales como: Trihidrato de aluminio y óxido de antimonio, ya que los retardantes halogenados como el bromo y el cloro tienen ciertas restricciones ambientalistas, pero sus normas siguen vigentes.

En esta tesis se trabajará como consulta con normas internacionales como la NFPA 255, ASTM E-84, ASTM-1360 y otras como la NCH-1974 ya que en el Perú todavía no hay una norma técnica peruana (NTP) en retardante al fuego, lo cual el departamento técnico de INDECI recomienda seguir con esas normas. (Orelvis González pág. 1 al 3)

1.2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

Según, Mercado Roca, Luis Adolfo (2005) en su memoria denominada: Resinas Epoxicas Retardantes a la llama; Síntesis, Caracterización y Propiedades.

Las resinas epoxi son ampliamente utilizadas en soldaduras, recubrimientos, adhesivos y materiales compuestos. En algunas aplicaciones las resinas epoxi requieren de funciones especiales y versátiles, tales como alta adhesión a los sustratos, bajo encogimiento, bajo estrés térmico después del curado, buena dureza, baja inflamabilidad y buena resistencia química. Los polímeros orgánicos, tanto naturales como sintéticos, son inherentemente combustibles y en presencia de una fuente de calor y de oxígeno se queman fácil y rápidamente. Evidentemente, el problema que se plantea no es únicamente la pérdida de propiedades del material, sino que el humo y los gases tóxicos que se desprenden son los principales responsables del peligro que supone un incendio. Por todo ello, existe una legislación cada vez más estricta concerniente a los ensayos de inflamabilidad específicos regulados por la administración y la industria de materiales plásticos, el mercado de materiales resistentes al fuego está experimentando un desarrollo continuo. La inflamabilidad de las resinas epoxi es una de las principales desventajas en su aplicación.

El mercado en los Retardantes al fuego

La revista Modern Plastics publica una lista anual de las principales clases de retardante de llama en los Estados Unidos “Chemicals and Additives, Special Report”

Mod. Plast. 1985. Se incluyó en el artículo nuevos productos que han aparecido en la prensa especializada. Los retardantes de llama en los Estados Unidos fueron objeto de estudios por SRI International [A. Brief, T. Chastain, C. Cipriani, S. Epstein et al.: “Fire Retardant Plastics,” a multiple client study by Skeist Laboratories, Livingston, N.J.1985.].

Las actualizaciones aparecen en las tabulaciones de SRI de aditivos plásticos y productos químicos especiales. El mercado japonés de productos químicos de retardantes al fuego se estimó en 80×10^3 t 1984. Japón es el consumidor

predominante en el Lejano Oriente, aunque Taiwán, Corea y la República Popular de China cada vez son más consumidores. Hay consumidores más pequeños en América del Sur y Sudáfrica.

La Asociación de Químicos, Incendios y Retardantes, con sede en Lancaster, Pennsylvania, se formó para permitir un foro común para el debate y el intercambio en asuntos de interés para fabricantes y usuarios de retardantes de llama. Los listados de proveedores de retardantes de llama en los Estados Unidos figuran en el informe del SRI, y hay disponibles listas de proveedores en todo el mundo, incluidos los Estados Unidos, Europa y Japón [Herbert Jenkner in R. Gachter, H. Muller (eds.): [Flame Retardants for Thermoplastics." Plastics Additives Handbook, Hanser Publishers, München p. 535.].

Se desarrollaron mercados para retardantes de llama después de la acción reguladora gubernamental; la pérdida de vidas y propiedades a causa del fuego generó presión pública para proporcionar "materiales más seguros". Las compañías de seguros también ejercieron presión al aumentar las tasas de pago, en entornos desprotegidos. Todavía existe presión para productos mejorados con niveles más bajos de humo y con toxicidad reducida de los productos de combustión.

1.3 Objetivos (General y específicos)

1.3.1 Objetivo General

Determinar experimentalmente la efectividad de los aditivos retardadores de llama inorgánicos trihidrato de aluminio y óxido de antimonio en madera, siguiendo la norma ASTM 1360-98.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar el índice de carbonización (cm^3) en muestras de madera Capirona con recubrimientos de silicona, poliéster y poliuretano con y sin la adición del agente retardante.

- Determinar el índice de carbonización (cm^3) en muestras de madera Tornillo con recubrimientos de silicona, poliéster y poliuretano con y sin la adición del agente retardante.
- Determinar si los resultados experimentales se ajustan estadísticamente a una distribución del tipo normal.

1.3.3 Hipótesis General

- Serían efectivos los retardantes de llama al usarse en madera
- Los aditivos inorgánicos como Trihidrato de Aluminio (ATH) y Óxido de Antimonio (Sb_2O_3) mejorarían el retardo a la llama en la madera

CAPÍTULO II

FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1 Bases teóricas

Aditivos: El término aditivos cubre una amplia gama de sustancias químicas que se añaden a los plásticos. Las categorías principales de aditivos son antioxidantes, agentes antiestáticos, colorantes, agentes de copulación, agentes de curado, retardadores de llama, agente de formación de espuma, soplado, estabilizantes térmicos, modificadores de impacto, lubricantes, plastificantes, conservantes, auxiliares de tratamiento y estabilizantes de UV.

En este caso hablaremos de los Retardadores de Llama por ser el objetivo de la tesis.

2.1.1 Definición de Retardantes de Llama

Son compuestos líquidos, sólidos o gaseosos que tienden a inhibir la combustión cuando se aplican, ya sea mezclado, combinado o sobre materiales combustibles. El concepto Retardante de Fuego (Fire Retardant) alude a químicos, tratamientos y pinturas (barnices) empleados para reducir la combustibilidad de los materiales de construcción y otros.

La American Society for Testing and Material (ASTM) sugiere que el retardante de fuego se emplee solo en el marco de términos compuestos como “barrera retardante”, “químico retardante”, “pintura retardante” o “tratamiento retardante”. Así mismo, las clasificaciones de propagación de llama se establecen a partir de resultados obtenidos bajo algún ensayo (En Estados Unidos se utilizan las normas NFPA255 o ASTM E84).

La mayoría de productos químicos retardadores de llama comerciales consisten en combinaciones de bromo, cloro, antimonio, boro, y fósforo. Muchos de estos

retardadores emiten un gas que extingue el fuego (Halógeno) al calentarse. Otros reaccionan hinchándose o expandiéndose, formando así una barrera aislante contra el calor y la llama. Algunos de los productos químicos más comunes utilizados para retardar la combustión son el Trihidrato de Alúmina (ATH), materiales halogenados y compuestos de fósforo. El ATH enfría el área de llama produciendo agua.

Los materiales halogenados liberan gases inertes que reducen la combustión. Diversos materiales de fósforo forman barreras carbonizadas, que aíslan los combustibles.

La inquietud actual por los sistemas retardadores de llama bromados, sobre todo los compuestos que contienen óxido de difenilo polibromado (PBDPO), ha llevado a las compañías a ofrecer retardadores de llamas sin halógeno.

El trabajo para desarrollar sistemas sin halógeno sigue en marcha, ya que algunos son tan eficaces como los productos halogenados.

Mientras que algunos polímeros como el PVC no se inflaman con facilidad, la mayoría de los polímeros orgánicos, como otros materiales carbonaceos, arden a temperaturas elevadas como las que se presentan en los incendios de edificios. Las poliolefinas, el SBR, el EPDM y por supuesto la madera mantienen la combustión cuando se prenden bajo la acción de una llama. Además de arder, los termoplásticos, como las fibras de poliéster se funden. Otros plásticos como el PVC, los poliuretanos, y las proteínas producen humos y gases tóxicos como CO, HCl y HCN al quemarse.

Dado que algunos polímeros se usan como materiales para tiendas de campaña, ropa y tejidos del hogar, es fundamental que tengan una buena resistencia de llama.

La combustión es una reacción en cadena que puede iniciarse y propagarse mediante radicales libres como el radical libre hidroxilo.

2.1.2 Mecanismo de retardador de llama

Dado que los radicales de halógenos y de fósforo se acoplan con radicales libres producidos en el proceso de combustión y terminan la reacción, muchos de los retardadores de llama son compuestos de halógenos o de fósforo. Estos compuestos pueden encontrarse como (a) aditivos, (b) retardadores o (c) retardadores internos,

como el anhídrido tetrabromoftálico puede ser parte del polímero, en los E.E.U.U, se utilizan alrededor de 100000 toneladas de retardadores de llama al año.

Para el proceso de combustión es necesario que haya oxígeno, combustible y altas temperaturas. Por tanto, los polifluorocarbonos, fosfacenos y algunos materiales compuestos tienen propiedades de retardo de llama porque son malos combustibles. Rellenos como el Trihidrato de alúmina (ATH) desprenden agua al calentarse y, por tanto, reducen la temperatura de combustión. Compuestos como el carbonato de sodio, que desprende dióxido de carbono, aíslan los reactivos del oxígeno.

Los retardadores de llama sinérgicos, como las mezclas de trióxido de antimonio con un compuesto orgánico de bromo, son mucho más eficaces que los retardadores de llama aislados. Por tanto, mientras que un poliéster con un 11,5% de anhídrido tetrabromoftálico se quema sin formar carbonilla a temperaturas altas, cuando se añade un 5% de óxido de antimonio se observa la formación de carbonilla pero sin arder.

2.1.3. Acción de los Retardantes de Llama.

Para entender el funcionamiento de los retardadores, es importante conocer los procesos de combustión de materiales sólidos. Estos no arden directamente, primero deben ser descompuestos por el calor (pirólisis) para liberar gases inflamables, que al quemarse con el oxígeno (O_2) del aire provocan las llamas.

Si los materiales sólidos no generan esos gases, ellos pueden quemarse sin llama (Smouldering) pero a menudo se autoextinguirán, particularmente si se forma una barrera carbonosa estable que previene el acceso de calor a las capas inferiores del material.

Las llamas se mantienen en forma sostenida por la acción de radicales de alta energía (H^+ y OH^- en fase gaseosa), que descomponen el material (ver pág. 8) y oxidan el carbono formando dióxido de carbono (CO_2), con la correspondiente generación de calor.

2.1.4. Comportamiento de los Retardantes de llama:

Los retardantes de llama producen diferentes tipos de efectos:

a) Efectos Térmicos: Los retardantes reducen la acumulación de calor por el aumento de la conductividad térmica para disipar el calor de combustión; el aumento de la absorción térmica o bien reducción de la cantidad de calor disponible; provisión de aislamiento térmico para disminuir el flujo de calor hacia el sustrato.

b) Efecto de Recubrimiento (coatings): Formación de una capa aislante sobre las fibras del material protegido, la que actúa excluyendo oxígeno e inhibiendo el escape de gases combustibles.

c) Efectos de dilución de gases: Liberación de gases no inflamables, como vapor de agua, amoníaco y CO₂, que diluyen a los gases combustibles.

d) Efecto químico: Asociado a productos celulósicos como la madera. Durante la etapa de ignición, la combustión de las mezclas gaseosas inflamables formadas durante el proceso de pirólisis se hace visible a través de las llamas. Los químicos retardantes intervienen las reacciones de pirólisis, disminuyendo la temperatura de descomposición térmica, seguida directamente por la formación de una capa carbonizada y de agua, en vez de la formación de gases inflamables.

2.1.5 Tipos de retardantes

Existen diversos retardantes inorgánicos en base compuestos halogenados, fósforo, trióxido de antimonio, trihidrato de aluminio, y nitrógeno, e intumescentes, entre otros, que actúan de distintas formas. Su acción es directa o como catalizador, incrementando el efecto retardante. También hay retardantes que son compuestos orgánicos combinados como N, C, B y P.

a) Hidrocarburos bromados

Los hidrocarburos bromados son los más costosos entre todos los sistemas retardadores de llamas que se utilizan en las industrias de los plásticos en todo el mundo. Los principales tipos de aditivos son el óxido de decabromodifenilo

(DBDPO) y los derivados del tetrabromobisfenol A (TBA). El principal tipo reactivo es el mismo TBA. También se emplean cantidades significativas de TBA para fabricar tipos de aditivos. Es común emplear compuestos bromados con un agente sinergista como el óxido de antimonio en una proporción de 3:1 (compuesto bromado-sinergista). Diversas resinas plásticas usan retardadores de llamas bromados. Las resinas que más destacan en el uso de este tipo de aditivos son HIPS, ABS y PC. Los epoxis para microchips y tableros de circuito y los poliésteres insaturados son las principales aplicaciones para los retardadores reactivos.

b) Ésteres fosfato

Los ésteres fosfato se clasifican en tipos halogenados y no halogenados. Los compuestos halogenados, típicamente ésteres de cloroalquilo, se emplean ampliamente en las espumas de poliuretano. Los productos no halogenados, entre los cuales los fosfatos triarílicos son los más comunes, se utilizan como retardadores de llamas en los plásticos o como plastificantes en el PVC. También hay cantidades significativas de ésteres de fosfato que no se usan en los plásticos sino en aplicaciones textiles y de lubricación. Hay cierta confusión en la categoría de los PVC acerca de si estos productos se deben considerar plastificantes o retardadores de llamas. Comúnmente los ésteres fosfato no se usan con algún compuesto sinergista.

c) Hidrocarburo clorado

El más importante, pero de menos categoría de desempeño, es la de las parafinas cloradas. Estos productos, como los ésteres fosfatos, se emplean como retardadores de llamas o como plastificantes para PVC y en las espumas de poliuretano. Hay tipos líquidos y resinosos; los primeros son los que más se usan en aplicaciones citadas. Los tipos resinosos se utilizan en las poliolefinas, los poliésteres insaturados y en algunos HIPS.

d) Oxido de aluminio

En la categoría de aluminio es un artículo de bajo costo que se emplea en rellenos elevados (hasta del 50 a 60% en los plásticos) como un relleno retardador de llamas. Los mayores usuarios son los acrílicos, las poliolefinas, el PVC y los poliésteres insaturados. Una tercera parte de todo el ATH se emplea fuera de los plásticos como retardador de llamas en elastómeros, respaldos de tapetes y textiles. La mayor parte de las empresas que se dedica al aluminio fabrican el producto hidrato blanco básico y lo venden a los procesadores, quienes lo ajustan para la industria de los plásticos.

e) Fosfato inorgánico

Los fosfatos inorgánicos consisten en polifosfato de amonio y fósforo rojo. El producto polifosfato de amonio se usa principalmente en recubrimientos intumescentes y en caucho, así como en plásticos. El fósforo rojo se utiliza como retardador de llamas en nylon y recubrimientos.

f) Melaninas

Las melaninas consisten en cristales de melanina, los cuales se emplean para impartir propiedades retardadoras de llamas a la espuma flexible de poliuretano que se utiliza en tapicería. Las sales de melanina, por ejemplo el fosfato de melamina y los cianuratos de melanina, se emplean en recubrimientos y en algunos plásticos.

g) Hidróxido de magnesio

El hidróxido de magnesio está usándose como sustituto del ATH. Es un buen supresor del humo y su precio está a la baja en relación con el del ATH.

h) Compuesto de molibdeno

Los compuestos de molibdeno incluyen productos como óxido molibdic o amonio y molibdatos de metal y se usan en PVC y refuerzo de alfombras. Estos productos son buenos supresores de humo y han sido señaladas como reemplazantes para óxido de antimonio.

i) Borato de zinc

El borato de zinc es el principal compuesto de boro que se usa como retardador de llamas en los plásticos. Compite con el óxido de antimonio cuando los precios de este se elevan. La principal aplicación para los compuestos de boro como retardadores de llamas es en el aislamiento de la celulosa. (Charles Harper (2) pág. 4.28 al 4.30)

2.1.6. Polímeros

El término polímero engloba una extensa variedad de materiales tanto naturales como sintéticos. Muchos de ellos han sido y siguen siendo de gran utilidad en nuestra sociedad. Dentro de este término genérico se pueden incluir sustancias tan conocidas como la celulosa, el almidón, las proteínas, las pieles, la lana, el algodón, fibras sintéticas basadas en poliésteres y poliamidas, las popularmente conocidas como plásticos, los cauchos, las pinturas, los adhesivos, etc.

El comienzo de la química macromolecular como ciencia puede situarse en la década de los años veinte cuando en la reunión anual de la Sociedad de Físicos y Naturalistas alemanes celebrada en Dusseldorf en 1926, Hermán Staudinger presentó su descubrimiento sobre estos materiales. Tomando como base determinados productos, obtenidos por hidrogenación del caucho natural extraído de ciertas plantas tropicales, deduciendo las altas viscosidades que presentaban en disoluciones diluidas, no podían ser sino el reflejo de un muy elevado peso molecular de dichas sustancias. Su hipótesis fue que ese peso molecular elevado podría explicarse si esas sustancias estuvieran constituidas por largas cadenas de átomos unidos por enlaces covalentes, consecuencia de la repetición a lo largo de cada cadena de unidades más pequeñas que las llamó monómeros y a la estructura resultante, polímero. Pronto se encontraron vías para llevar a cabo esos procesos, fundamentalmente basadas en dos tipos de reacciones bien conocidas en la química orgánica: Las reacciones de condensación y las reacciones de adición a un doble enlace.

Estos son los polímeros de condensación, formados a través de una reacción de los grupos funcionales de compuestos orgánicos con la posible eliminación de agua y otros subproductos similares.

En general un Termoestable se suele vender en forma de presentaciones que incluyen uno o dos componentes que, en las condiciones de utilización son susceptibles de sufrir un proceso polimerización cruzada, en el que se genera una nueva estructura, de carácter tridimensional, que hace que el producto así obtenido presente una alta resistencia térmica, rigidez, estabilidad dimensional, resistencia a disolventes, etc., que no tenía el compuesto de partida.

Los polímeros termoestables se encuentran en muchas aplicaciones industriales como fabricación de estructuras (Barcos deportivos, componentes para el sector Aeronáutico), laminado para uso decorativos, adhesivos, espumas aislantes para insonorización o aislamiento térmico, etc.

Por lo cual es mucho más usual emplear el término Resina en los Termoestables.

2.1.7 Las Resinas como revestimiento

Las resinas plásticas son empleadas en la manufactura de un gran número de compuesto para revestimientos, que se usan para cubrir las superficies de muchos materiales desde papel hasta metales.

Aproximadamente una cuarta parte de las resinas producidas son consumidas como materiales de revestimientos, incluyendo pinturas, barnices, esmaltes y una variedad de composiciones de revestimientos plásticos aplicados a manufacturas de todos tipos, como papel, cartón, cuero, metal y madera, como revestimientos protectores o acabados decorativos.

Actualmente las principales resinas para revestimientos son las alquídicas, los poliésteres, las fenólicas, las úreas, las melaninas, el nitrato de celulosa, el acetato-butirato de celulosa, la etilcelulosa, los acrilatos, el estireno, las siliconas, los epoxis, el nylon, los flurohidrocarburos y los poliuretanos. Prácticamente todos ellos pueden ser aplicados en forma de revestimiento disolviéndolas o dispersándolas en un solvente adecuado, y aplicando la solución de resina con brocha, rociador y rodillo. Plásticos formulación y moldeo, Herbert simonds y james church (3).

CAPÍTULO III

DESCRIPCIÓN DE LAS MATERIAS PRIMAS

3.1 Madera y Fuego

Definición de la madera:

La madera es una de las materias primas de origen vegetal más explotadas por el hombre. Se encuentra en los árboles de tallo leñoso (que tienen tronco), encontrando su parte más sólida debajo de la corteza del árbol. Se utiliza para fabricar productos de gran utilidad como mesas, sillas y camas, muebles en general y en tecnología se usa para realizar muchos proyectos.

La madera es unos recursos renovables, abundantes, orgánicos, económicos y con el cual es muy fácil de trabajar.

Propiedades de la madera

La disposición de las fibras de la madera, su tamaño, orientación, el contenido de humedad, el tamaño de los poros, etc., determinarán sus propiedades y/o sus características.

Dependiendo de las propiedades serán mejor para un uso o para otro.

Existe mucha diferencia entre las propiedades de una madera u otra, por eso hablaremos de las generales:

- La madera es aislante térmico y eléctrico.
- Es buena conductora del sonido (acústico).
- Es un material renovable, biodegradable y reciclable.
- Es dúctil, maleable y tenaz.
- El color es debido a las sales, colorantes y resinas. Las más oscuras son más resistentes y duraderas.

- La textura depende del tamaño de los poros. Condiciona el tratamiento que debe recibir la madera.
- Las veras se deben a la orientación y color de las fibras. La densidad depende de la masa y la resistencia.
- La densidad, cuanto más tiene, la madera es más resistente. Casi todas las maderas tienen una densidad menor que la del agua, lo que les permite flotar.
- Las maderas de baja densidad (hasta $0,5 \text{ g/cm}^3$) se conoce como coníferas.
- Las de alta densidad (mayor a $0,5 \text{ g/cm}^3$) se conoce como latifoliadas.
- Flexibilidad, es la facilidad para ser curvadas en el sentido de su longitud, sin romperse ni deformarse. La tienen especialmente las maderas jóvenes y blandas.
- La hendidura, consiste en la facilidad que contiene la madera en partirse o rajarse en el sentido de la fibra. La resistencia será menor si es de fibra larga y carece de nudos, así como si está verde la madera.
- Dureza o resistencia al corte, que dependerá de la mayor o menor cohesión entre sus fibras y la menor cantidad de agua. Por ejemplo, una zona de nudos tendrá mayor cohesión de sus fibras que una zona limpia, por tanto será más dura y resistente al corte.
- Resistencia al fuego; es la resistencia al fuego de los elementos constructivos se basa en la evaluación del tiempo durante el cual un elemento es capaz de cumplir la función para la cual ha sido instalado, analizando la capacidad portante, integridad y aislamiento.
- Capacidad portante; es la capacidad del elemento constructivo de soportar, durante un periodo de tiempo y sin pérdida de la estabilidad estructural, la exposición al fuego en una o más caras, bajo acciones mecánicas definidas.
- Integridad; es la capacidad del elemento constructivo con función separadora, de soportar la exposición al fuego solamente en una cara, sin que exista transmisión o la cara no expuesta dando al paso de llamas o de gases salientes.

- Aislamiento; es la aptitud del elemento constructivo de soportar la exposición al fuego en un solo lado, sin que se produzca la transmisión del incendio, dando a una transferencia de calor significativa desde el lado expuesto al no expuesto?
Factores principales: factores que hay que tener en cuenta para el análisis del comportamiento de la madera frente al fuego.
- Densidad; en las especies de madera con mayores densidades, presentan un mejor comportamiento frente al fuego, el inicio y la combustión son más lentos.
- Superficie - volumen; es la alta relación superficie / volumen de la madera incrementa la probabilidad de propagación del fuego. La comparación entre astillas de madera y un tronco redondo, facilita la comprensión del comportamiento de la relación superficie/ volumen en el comportamiento de la madera frente al fuego.
- Irregularidades; es la presencia de hendiduras o fendas es un factor desfavorable en el caso de contacto con el fuego, sobre todo si estas son en la misma dirección que las fibras de la madera.
- Comportamiento de la madera expuesta a una fuente de ignición:
- Temperatura a partir de 270 °C comenzar el desprendimiento de vapores de la madera.
- Temperatura de 300 °C y con llama directa en la cual comienza a arder.
- Temperatura de 400 °C sin llama directa en la cual comienza arder aunque no exista llama directa.

Por lo cual la madera no arde rápidamente debido a que principalmente su conductividad térmica es baja. Cuando se produce la combustión, se genera una capa exterior carbonizada, que a su vez actúa de aislante protegiendo el interior de la pieza y manteniendo sus propiedades físico-mecánicas (Centro de Innovación y servicios de la madera).

3.1.1 Madera Tornillo

Especie: *Cedrelinga catenaeformis* D. Ducke.

Familia: Fabaceae-Mimosoideae

Nombres comunes: Perú: familia, huayra caspi, cedrorana; Colombia: achapo;
Ecuador: seique; Brasil: cedrorana.
Nombre comercial internacional: Tornillo

3.1.1.1 Características de la especie

Distribución Geográfica: La distribución de la especie fue obtenida de la literatura y de reportes de herbario e inventarios, se encuentra en los departamentos de Junín, Madre de Dios, Loreto y Ucayali, entre 0 y 500 msnm. La especie existe en cantidades altas en la amazonia norte y en cantidades medias en amazonia sur del Perú.

Árbol: Alcanza 40 m de altura y hasta 120 cm de diámetro; tronco recto cilíndrico; aletones poco o medianamente desarrollados, gruesos. La corteza superficial del tronco es de color pardo oscuro, apariencia rugosa, ritidoma coriáceo; la corteza muerta se desprende en placas rectangulares, por encima de los aletones; corteza muerta leñosa, corchosa, de 1 cm de espesor. Corteza viva de 0,5 cm de espesor, de color rosado, textura arenosa y de sabor dulce.

3.1.1.2 Características de la madera

Color: El tronco recién cortado presenta las capas externas de madera (albura) de color rosado y las capas internas (duramen) de color rojizo claro y de forma regular, observándose entre ambas capas un gradual contraste de color. En la madera seca al aire la albura se torna de color rosado y el duramen marrón rojizo. (MunsellSoil Color Charts).

- Olor distintivo, urticante al aserrarse.
- Lustre o brillo moderado a brillante.
- Grano entrecruzado.
- Textura gruesa.

Veteado o figura: Poco definido en el corte tangencial, arcos superpuestos ligeramente diferenciados con líneas vasculares oscuras pronunciadas y en el corte radial bandas angostas, paralelas, satinadas.

3.1.1.3 Características tecnológicas

Propiedades Físicas

Densidad básica 0,45 g/cm³ Contracción tangencial 3,00 %

Contracción radial 1,00 %

Contracción volumétrica 3,90 %

3.1.1.4 Recomendaciones técnicas

El Tornillo es una madera medianamente pesada, presenta contracciones lineales media y contracción volumétrica estable. La resistencia mecánica se sitúa en el límite de la categoría media. La madera, es moderadamente fácil de aserrar por su media resistencia mecánica. Presenta buena trabajabilidad y acabado apropiado para la producción de piezas estructurales para construcción de viviendas, puertas y ventanas. Seca en forma rápida, puede soportar horario fuerte en secado artificial demorando aproximadamente 55 horas, es estable con bajo riesgo de alabeo. La albura es susceptible al ataque biológico, la pieza con albura requiere ser preservada por sistema de vacío a presión; el duramen es resistente y por ello las piezas enteramente de duramen, no requieren de preservación.

Actualmente es usada en pisos, estructuras de casas, armaduras, vigas, columnas, carpintería de interiores, artesanía y en la fabricación de puertas, ventanas y carrocerías (Instituto nacional de integración agraria madera tornillo).

3.1.2. Madera Capirona

Especie: *Calycophyllum spruceanum* (Benth.) Hook

Familia: Rubiaceae

Sinonimia: *Eukylista spruceana* Benth

Nombres comunes: Perú: capirona, palo mulato; Bolivia: guayabochi, palo blanco;

Colombia: capirona de altura, guayabete; Ecuador: capirona.

Nombre comercial internacional: Palo mulato

Características de la especie:

Distribución geográfica: La distribución de la especie fue obtenida de la literatura y de reportes de herbario, se encuentra en los departamentos de Amazonas, San Martín, Huánuco, Madre de Dios, Loreto y Ucayali, entre 0 y 1000 msnm. La especie crece en comunidades denominados "capironales", existe en regulares cantidades en la amazonía del Perú.

Árbol: Alcanza 35 m de altura total y 0.70 a 1.80 m de diámetro a la altura del pecho. Presenta tronco de fuste recto cilíndrico. La corteza externa es de color marrón verdoso que al desprenderse en placas coriáceas expone el tronco blanco grisáceo por ello también se le conoce como "palo mulato".

3.1.2.1 Características de la madera

Color: El tronco recién cortado presenta las capas externas de la madera (albura) de color blanco cremoso y las capas internas (duramen) de color blanco pardo con vetas de color marrón claro, observándose entre ambas capas muy poco contraste en el color. En la madera seca al aire la albura se torna de color blanco y el duramen se torna a amarillo. (Munsell Soil Color Charts).

Olor No distintivo.

Lustre o brillo Medio.

Grano Recto aligeramente entrecruzado.

Textura Fina.

Veteado o figura: Jaspeado tenue, bandas paralelas.

3.1.2.2 Características tecnológicas

La Capirona es una madera muy pesada, que presenta contracciones lineales bajas y la contracción volumétrica es moderadamente estable. Para la resistencia mecánica se sitúa en el límite de la categoría media a alta.

3.1.2.3 Propiedades Físicas

Densidad básica 0,76 g/cm³.

Contracción tangencial 9,00 %

Contracción radial 5,00 %

Contracción volumétrica 15,00 %

3.1.2.4 Recomendaciones técnicas

Madera moderadamente fácil de aserrar y de buen comportamiento a la trabajabilidad. Al secado artificial se comporta en forma regular, requiere un programa suave para evitar los riesgos de agrietamiento. Tiene buena resistencia al ataque biológico, no requiere preservación, madera durable, especialmente en elementos fuera del contacto con el suelo. Tortorelli, lo señala como un sustituto de *Casearia prae cox* “boxwood”.

La madera se puede utilizar para pisos, parquet, molduras, tarugos, construcción naval, estructuras pesadas vigas, carrocerías, tornería, artículos deportivos, raquetas de tenis y ping pong, mangos de herramientas (Instituto nacional de integración agraria madera capirona y madera tornillo).

3.2 La Alúmina

La alúmina es un material cerámico muy versátil, sus propiedades la hacen especialmente apta para otras aplicaciones en donde la temperatura es un factor crítico, además de su relativa facilidad para adaptarse a diversos trabajos y usos.

Los cristales de óxido de aluminio son normalmente hexagonales y de tamaño diminuto. Los tamaños mayores de los granos se forman de numerosos cristales, a diferencia de los grandes granos mono cristalinos del carburo de silicio. Su peso específico es aproximadamente 3,95 y la dureza de 2000 knoop.

La estructura en forma de octaedro de alúmina, en el cual 6 grupos hidroxilos (OH⁻); sus átomos de oxígeno, están dispuestos de tal manera que cada uno forme un vértice de un octaedro que se mantiene unido por un átomo de aluminio en el centro, algunas

veces el aluminio es sustituido por fierro en estado ferroso o férrico. Los octaedros se encuentran unidos entre sí en una hoja conocida como hoja de alúmina u octaédrica.

3.3 Aluminios hidratados

Los precipitados que se forman cuando se tratan de soluciones de sales de aluminio con iones hidroxilos contienen proporción variable de agua y se representa con la fórmula $Al_2O_3 \cdot x H_2O$. Ello no obstante, hay varias alúminas hidratadas que dan imágenes de rayos x bien definidos, son los monohidratos alfa y beta y los trihidratos alfa y beta.

Esta sustancia se conoce también en la literatura con el nombre de hidróxidos de aluminio. En este caso se suele asignar al trihidrato, la fórmula $Al(OH)_3$.

Los trihidratos de alumina (ATH) se obtienen por digestión de la bauxita mediante el proceso Bayer.

El trihidrato de alumina empieza a liberar el agua de constitución por encima de $180^\circ C$. la eliminación del agua facilita el enfriamiento de la superficie y dificulta la entrada de oxígeno, lo que confiere propiedades como retardante de llama y supresor de humos. En consecuencia, es un material indispensable en productos como cauchos, poliuretanos, poliéster, siliconas, termoplásticos, cables, etc. Con propiedades frente al fuego en lo que respecta a materiales ignífugos.

3.4 Antimonio y óxido de antimonio (Sb_2O_3)

El antimonio es un elemento semi- metálico que presenta una forma metálica estable y dos formas no metálicas inestables. En su forma elemental es un sólido, quebradizo, no maleable con baja conductividad térmica y eléctrica. Tiene cierto comportamiento metálico pero se porta químicamente como un no metal.

El antimonio se encuentra usualmente en forma de sulfuros, la mena se llama antimonita y estilina. El proceso de obtención a partir del mineral incluye un tostado para obtener oxido y una posterior reducción con coque. También puede reducirse directamente el sulfuro.

El antimonio presenta cuatro formas alotrópicas. El antimonio amarillo o alfa es amargo inestable y pasa rápidamente a temperaturas superiores a -90°C a antimonio negro que se oxida espontáneamente en aire y se convierte en el antimonio romboédrico común o beta antimonio.

El antimonio forma un número muy grande de compuestos inorgánicos. Los sulfuros predominan en la naturaleza y otros compuestos importantes por sus aplicaciones en el óxido de antimonio.

El óxido de antimonio Sb_2O_3 entre sus características que es un agente retardante de llama está sustentada en su capacidad para inhibir los radicales libres que son responsables de la propagación en la combustión.

Por efecto sinérgico, su actividad se ve fuertemente incrementada en presencia de halógenos, de allí su participación exclusiva en compuestos de PVC para la fabricación de elementos no combustibles. La utilización como agente retardante de llama, se extiende a plásticos en general, cauchos, fibras textiles, telas, papeles, pinturas, etc.

3.5 Resinas

La resina es cualquier clase de material orgánico sólido, semisólido o líquido, generalmente un producto de origen natural o sintético con un alto peso molecular y sin punto de fusión. Las diez resinas termofijas (o termoendurecibles) básicas tienen todas ellas una propiedad en común: si se exponen a una temperatura elevada del ambiente, sufren una reacción química irreversible que con frecuencia se le denomina reticulación. Cada miembro de la familia, tiene su propio conjunto de características químicas individuales, basadas en su estructura molecular y su capacidad para homopolimerizarse, copolimerizarse o ambos fenómenos.

Este proceso de transformación representa la línea que delimita los polímeros termofijos de los termoplásticos. Los polímeros termoplásticos cristalinos son capaces de formar, hasta cierto grado, cadena cruzada cristalina, pero hay una cadena cruzada química, la cual si se presenta será muy pequeña, que ocurre durante la reacción de termofijación. Morrison/Boyd (5).

El factor benéfico importante estriba en el refuerzo inherente de las propiedades físicas, eléctricas, térmicas y químicas de las resinas termofijas dado a que la reacción de polimerización por cadena cruzada química contribuye también a su vez a su capacidad para retener las propiedades que se han reforzado cuando se exponen a condiciones ambientales severas.

En esta tesis hemos trabajado con tres tipos de resinas las cuales son: Poliuretano, Poliéster y Silicona.

3.5.1 Resina de Poliéster:

Características químicas: los poliéster termofijos se pueden producir partiendo de los anhídridos ftálicos o maleico y alcoholes polifuncionales con una catálisis obtenida mediante peróxidos que producen radicales libres. Los enlaces químicos ilustrados formarán una estructura molecular rígida, de cadena cruzada, termofija. Los poliésteres termofijos se derivan de los efectos de la condensación al concentrar un ácido difásico insaturado (anhídrido Maleico) con un glicol (propilenglicol, etilenglicol y dipropilenglicol)

Normalmente se atribuye la obtención de las resinas de poliéster (del tipo alquilo) al químico sueco Jhons Jacob Berzelius en 1847 y a Gay Lussac y Pelouze en 1833. Más tarde W.H Carothers y R.H Kiende profundizaron en investigaciones en esta misma dirección. A lo largo de la década de 1930 el estudio de los poliésteres giro en torno al desarrollo y perfeccionamiento de aplicaciones de pintura y barnices.

Carleton Ellis en 1937, también estimuló un mayor interés en la resina, al descubrir que con la adición de monómeros insaturados o poliésteres insaturados se reducía considerablemente el tiempo de reticulación y polimerización. Ellis es considerado como el padre de los poliésteres insaturados.

Ventajas de los poliésteres insaturados:

- Amplio espectro de curado
- Se pueden usar para aparatos médicos (prótesis artificiales)
- Son aceptables altos niveles de carga
- Materiales termoendurecibles

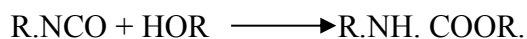
- Herramientas económicas
- Son asequibles los tipos halogenados incombustibles

Inconvenientes de los Poliésteres insaturados:

- Temperatura de servicio superior limitada a 93° C
- Escasa resistencia a los disolventes (Richardson & Lokensgart (10) pág. 552 al 557, Harper pág. 2.7 al 2.8)

3.5.2 Resina de Poliuretano

El termino poliuretano se refiere a la reacción de poliisocianatos(-NCO-) y grupos Polihidroxílicos (-OH). A continuación se muestra una reacción simple de isocianato y un alcohol. El producto de reacción es uretano no poliuretano.



Los químicos alemanes Wartz y Hentschel, obtuvieron en 1848 y 1884 los primeros isocianatos, hecho que condujo finalmente al desarrollo de los poliuretanos, fueron realmente Bayer y sus colaboradores quienes hicieron posible el desarrollo comercial de los poliuretanos en 1937. Desde entonces, estos materiales se han desarrollado en muchas formas comercializadas entre la que incluyen recubrimientos, elastómeros, adhesivos, compuestos de moldeo, espumas y fibras.

Los recubrimientos de poliuretano son llamativos por su alta resistencia a la abrasión, su inhabitual tenacidad y sus cualidades de dureza, flexibilidad y resistencias a sustancias químicas y a la intemperie. ASTM ha definido cinco tipos diferenciados de recubrimientos de poliuretano como son:

I)	Modificado con aceite	Aplicaciones transparente y pigmentado
II)	Pre polímero	Maderas de exterior y esmaltes marinos e industriales.
III)	Bloqueado	Interior y exterior, recubrimientos de

	madera, caucho y cuero.
IV) Pre polímero + Catalizador	Revestimiento de cables
V) Polisocianato + Polialcohol	Acetatos industriales y productos de caucho y caucho.

Ventajas de poliuretano:

- Alta resistencia a la abrasión.
- Buena capacidad a baja temperatura.
- Amplia variabilidad en estructura molecular.
- Posibilidad de curado en condiciones ambientales.
- Comparativamente bajo coste.
- Los prepolímeros se espuman fácilmente.

Inconvenientes del poliuretano:

- Escasa capacidad térmica.
- Tóxico (se usan isocianatos).
- Escasa resistencia a la intemperie.
- Susceptible al ataque de disolventes (Richardson & Lokensgart (10)pág. 558 al 561)

3.5.3 Resina de Silicona

La capacidad tetravalente del silicio fue objeto de interés para los químicos ya en 1863. Fredrich-Wholer, CM. Crafts. Charles Friedel, F.S Kipping, W.H Carothens y muchos otros trabajaron en el desarrollo de polímeros de silicona.

En 1943 Dow Corning Corporation comenzó a producir los primeros polímeros de silicona comerciales en los estados unidos.

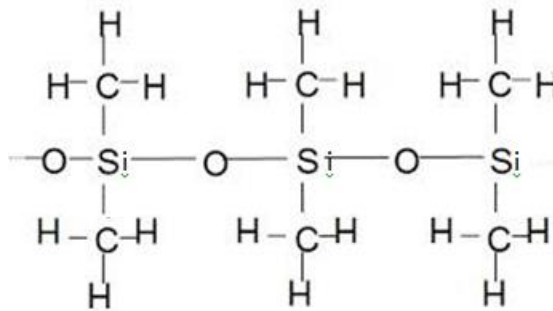
Estos materiales tienen miles de aplicaciones. La palabra silicona debería aplicarse solamente a polímeros que contienen una unión silicio-oxígeno-silicio, aunque suele utilizarse para designar cualquier polímero que contiene átomos de silicio.

Numerosos polímeros de silicona se basan en cadenas, anillos o redes de átomos de silicio y oxígeno alternantes. Los más comunes contienen grupos metilos, fenilo o vinilo en la cadena siloxano. Se forman series de polímeros variando los grupos radicales orgánicos en la cadena de silicio. También son posibles muchos copolímeros.

La cantidad de energía necesaria para producir plásticos de silicona eleva su precio. Aunque se puede seguir considerando económicos a estos materiales, se tiene en cuenta la larga vida del producto, sus mayores temperaturas de servicio y su flexibilidad ante temperaturas extremas.

Las siliconas se fabrican en cinco categorías comerciales:

Líquidos, compuestos, lubricantes, resinas y elastómeros (cauchos)



Cadena molecular de silicona polimerizada

Ventajas de la silicona:

- Amplio intervalo de capacidad térmica, desde -73 a 315 °C.
- Buenas características eléctricas.
- Gran variación en la estructura molecular.
- Se pueden obtener siliconas transparentes.
- Baja absorción de agua.
- Existen tipos retardantes de llama.
- Buena resistencia química.

Inconvenientes de la silicona:

- Escasa resistencia.
- Sujeta al ataque de disolventes Halogenados.
- Alto coste relativo. (Richardson & Lokensgart (10)pág. 561 al 565, Harper (2)2.10).

CAPÍTULO IV

PARTE EXPERIMENTAL

En el presente capítulo se expondrá la metodología experimental llevada a cabo para el cumplimiento de los objetivos del presente trabajo de investigación.

4.1 Metodología experimental

Las actividades experimentales realizadas fueron adaptadas según lo expuesto en la norma ASTM D-1360.

Descripción de la Norma ASTM D-1360

- Esta norma describe un procedimiento de ensayo para determinar el retardo al fuego de pinturas.
- Esta norma permite determinar de modo cuantitativo, las propiedades retardantes al fuego producidas por una o varias capas de pintura aplicada sobre superficies de madera, a través de la determinación del índice de carbonización de las probetas recubiertas con dicha pintura.
- Este método se utiliza, solamente, para medir y describir las propiedades de un recubrimiento en respuesta a la llama, bajo condiciones controladas de laboratorio. Por lo tanto no debe ser considerado o usado para la descripción, la evaluación o la reglamentación del riesgo de incendio real.

b) Resumen de método

- Tal como se aprecia en la Figura 4.1, las probetas se colocan inclinadas a 45° en una cámara de combustión especial y se someten a una llama normalizada originada por una pequeña cantidad de alcohol (etanol absoluto), determinando luego la pérdida de masa y el índice de carbonización de cada probeta ensayada.

c) Preparación de las Probetas

- Preparar por lo menos diez probetas de 300 mm x 150 mm x 6 mm, de espesor.
- Acondicionar durante 14 días las probetas de madera (sin pintura) en una atmósfera controlada, con humedad relativa de $50\% \pm 5\%$ y temperatura de $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.
- Aplicar la pintura con brocha recubriendo los cantos de la probeta de madera y que se aplique más de una capa de pintura, luego secarla durante 14 días, bajo las condiciones controladas y luego someter la probeta, colocarlas en el horno a $50^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.
- Colocar las probetas en el aparato del ensayo, inclinadas a 45°.
- Colocar el recipiente del combustible (etanol absoluto), centrado sobre la base metálica, de modo que la distancia horizontal de su borde más cercano a la probeta sea de 25 mm.
- Agregar al recipiente 5,0 ml. de etanol absoluto o bien una mezcla que tenga el mismo calor de combustión y encenderlo mediante una llama que tenga una longitud aproximada de 13 mm. Al inicio de cada prueba, el recipiente debe estar a la temperatura ambiente del laboratorio.
- Dejar que el ensayo prosiga hasta que la llama de la probeta se extinga por sí misma.
- Repetir el procedimiento con cinco probetas iguales, como mínimo.

d) Determinación del índice de carbonización

Con el auxilio de una sierra de dientes finos, cortar las probetas a lo largo de las líneas de la longitud máxima y de la anchura máxima del ataque. Medir sobre el

corte lateral, en mm. la anchura máxima de carbonización de la probeta de madera debajo de la película de pintura. De esta manera similar, medir la longitud máxima de carbonización encontrada sobre el corte longitudinal. Medir la profundidad máxima hasta la cual la carbonización ha penetrado en la madera y tal como se desprende el examen de los cortes longitudinales o laterales. Determinar el índice de carbonización multiplicando los valores numéricos que corresponden a los máximos de la longitud, la anchura y la profundidad de carbonización.

Calcular el promedio y la desviación normal para el índice de carbonización. Si la desviación normal de las cinco probetas iguales, resulta mayor que el 10% del valor promedio, someter a ensayo cinco probetas adicionales y calcular el valor promedio y la desviación normal del índice de carbonización de las diez probetas.

En conformidad a la norma ASTM D-1360 (Standard Test Method for fire

Retardancy of Paints Cabinet Method) se realizó la siguiente prueba:

- Se lijó una probeta de dimensiones 300 mm x 150 mm x 6 mm (madera en capirona y tornillo).
- Se le aplicó una resina sin y con aditivo.
- Se dejó la probeta al medio ambiente durante un periodo de tres días.
- Se calentó en una estufa a una temperatura de 50°C por un tiempo de 30 minutos.
- Se dejó reposar la muestra por un día.
- Finalmente se quemó la madera en un ángulo de 45°, en la parte inferior se colocó un envase con un volumen 5 ml de etanol absoluto y se encendió hasta consumirse dejando en la madera una huella de carbonización la cual permite determinar el índice de carbonización.

La determinación del índice de carbonización se realizó de la siguiente manera:

- Largo de la madera quemada por el ancho por el espesor de carbonización

Por ejemplo: En el caso de madera capirona con aditivo al 15,25% se tiene:

$$L = 7,5 \text{ cm}$$

$$A = 5,2 \text{ cm}$$

$$e = 0,1 \text{ cm}$$

$$IC = A \times L \times e = 7,5 \text{ cm} \times 5,2 \text{ cm} \times 0,1 \text{ cm} = 3,9 \text{ cm}^3$$

Dónde:

A: ancho de la huella de carbonización (cm)

L: largo de la huella de carbonización (cm)

e: espesor de carbonización (cm)

IC: índice de carbonización (cm³)

4.1.1 Determinación del peso de las resinas de poliéster, poliuretanos y siliconas solos sin aditivos y el peso del aditivo (trihidrato de aluminio y óxido de antimonio) y su porcentaje en masa.

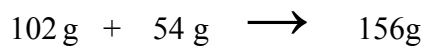
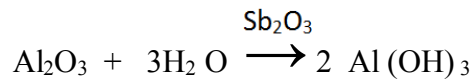
Las variables independientes y dependientes del estudio son:

- Variable dependiente: índice de carbonización (cm³).
- Variable independiente: número de experiencias.

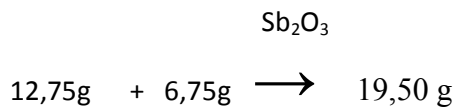
Para el estudio de la distribución y la probabilidad del conjunto de muestras:

- Variable dependiente: frecuencia y Porcentaje %.
- Variable independiente: índice de carbonización (cm³).

Fórmula Estequiométrica del Trihidrato de Aluminio (ATH)



Dividiendo la ecuación estequiométrica entre 8 obtenemos:



Masa de óxido de Aluminio $W(\text{Al}_2\text{O}_3) = 12,75 \text{ g}$

Masa del Agua Destilada $W(\text{H}_2\text{O}) = 6,75 \text{ g}$

Masa del Óxido de Antimonio $W(\text{Sb}_2\text{O}_3) = W\left(\frac{2 \text{Al}(\text{OH})_3}{3}\right) = 4,5 \text{ g}$

Por lo tanto, peso de aditivo total = $12,75 \text{ g} + 4,25 \text{ g} = 17 \text{ g}$

NOTA: Por referencia bibliográfica del libro de manual de plásticos del autor Harper el óxido de antimonio se añade la tercera parte con respecto al Trihidrato de Aluminio.

La masa de las resinas Poliéster, Poliuretano y Silicona la masa de las resinas mencionadas son iguales

La masa de resina Poliester + Poliuretano + Silicona = $267,5 \text{ g}$

Determinación del porcentaje de Aditivo con respecto a las Resinas

Masa de Resina Sola (Wprs) = 267,5g

Masa de Aditivo Total (Wpat) = 12,75 g (Al₂O₃) + 6,5 g (Sb₂O₃) = 19,25 g

(Wpat) + (Wprs) = 267,5 g + 19,25 g = 286,75 g

El porcentaje en peso del Aditivo:

286,75 g → 100 %

19,25 g → X %

Por lo tanto: X = 6,71 % de Aditivo (Al₂O₃ + Sb₂O₃)

Este porcentaje de aditivo (Al₂O₃) + (Sb₂O₃) se trabaja con las tres resinas: Poliéster, Poliuretano y Silicona para determinar el porcentaje de carbonización.

Al realizar las pruebas de quemado según la norma ASTM D – 1360 de las probetas de Madera Capirona y Madera Tornillo con las Resinas de Poliéster, Poliuretano y Silicona y con el porcentaje en peso de aditivo al 6,71 %, se determinó que el mejor resultado de retardo a la llama y la disminución de porcentaje de carbonización lo obtuvo la Silicona con el Aditivo al 6,71 %; lo cual se determinó por estos resultados. Solo trabajamos con la Resina de Silicona y se aumentó el porcentaje del aditivo dos veces para ver los cambios de porcentaje de carbonización.

Se escogió trabajar con porcentaje de Aditivo de 11,71% y 16,71% en el cual las masas de Aditivos serían los siguientes:

Calculando la masa del Aditivo al 11,71 %

19,25 g → 6,71 %

X → 11,71%

Por lo tanto X = 33,59 g de Aditivo al 11,71 %

- Calculando la masa del Aditivo al 16,71 %

19,25 g \rightarrow 6,71 %

X \rightarrow 16,71%

Por lo tanto X = 47,94 g de masa de Aditivo al 16,71 %

Lo cual se procedió al quemado de las probetas de Madera Capirona y Madera Tornillo según la norma ASTM D- 1360 con el mismo peso de Resina de Silicona sola de 267,5 g y los dos porcentajes de Aditivos total de ($\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Sb}_2\text{O}_3$) al 11,71 % y 16,71 % en masa. Dando resultado favorable en el porcentaje de Carbonización al disminuirlo según se aprecia en las gráficas estadísticas correspondientes, (figuras de tabla 4.20 – 4.37).

4.2 MONTAJE EXPERIMENTAL Y PRUEBAS REALIZADAS

El esquema de las pruebas o montaje experimental realizado se presenta en las siguientes figuras, así como los datos experimentales bajo la forma de la huella de carbonización de las distintas muestras analizadas.



Figura 4.2 Tornillo solo sin resina y sin aditivo



Figura 4.3 Capirona sin resina y sin aditivo



Figura 4.4 Capirona con resina de Poliuretano sin aditivo



Figura 4.5 Tornillo con resina de Poliuretano sin aditivo



Figura 4.6 Tornillo con resina de Silicona sin aditivo



Figura 4.7 Capirona con resina de Silicona sin aditivo



Figura 4.8 Tornillo con resina de Poliéster sin aditivo



Figura 4.9 Capirona con resina de Poliéster sin aditivo



Figura 4.10 Tornillo con resina de Poliéster con aditivo al 6,71 %



Figura 4.11 Capirona con resina de Poliéster con aditivo al 6,71 %



Figura 4.12 Tornillo con resina de Poliuretano con aditivo al 6,71 %



Figura 4.13 Capirona con resina de Poliuretano con aditivo al 6,71 %



Figura 4.14 Tornillo con resina de Silicona con aditivo al 6,71%



Figura 4.15 Capirona con resina de Silicona con aditivo al 6,71 %



Figura 4.16 Tornillo con resina de Silicona con aditivo al 11,71 %



Figura 4.17 Capirona con resina de Silicona con aditivo al 11,71 %



Figura 4.18 Tornillo con resina de Silicona con aditivo al 16,71 %



Figura 4.19 Capirona con resina de Silicona con aditivo al 16,71 %

4.3 Resultados experimentales.

A continuación se presentan bajo forma de tablas y figuras los diferentes resultados obtenidos para el índice de carbonización conseguido en las pruebas y su respectivo análisis estadístico.

Herramienta de análisis estadístico

Para la determinación de los gráficos y resultados estadísticos se utilizó el software Minitab 16.0

Características del Minitab 16.0 Statistics Software

- Facilidad de uso.
- El diseño intuitivo es fácil de aprender.
- Menús y herramientas organizado de forma lógica que coinciden con los textos y materiales de entrenamiento.
- Disponibles en múltiples idiomas.
- Mayor velocidad y mejor rendimiento.
- Glosario de términos estadísticos.
- Métodos y formulas utilizados en los cálculos.
- Cientos de conjuntos de datos de muestra.
- Calcula entre otros, parámetros: La media, la Desviación Estándar y la Varianza.

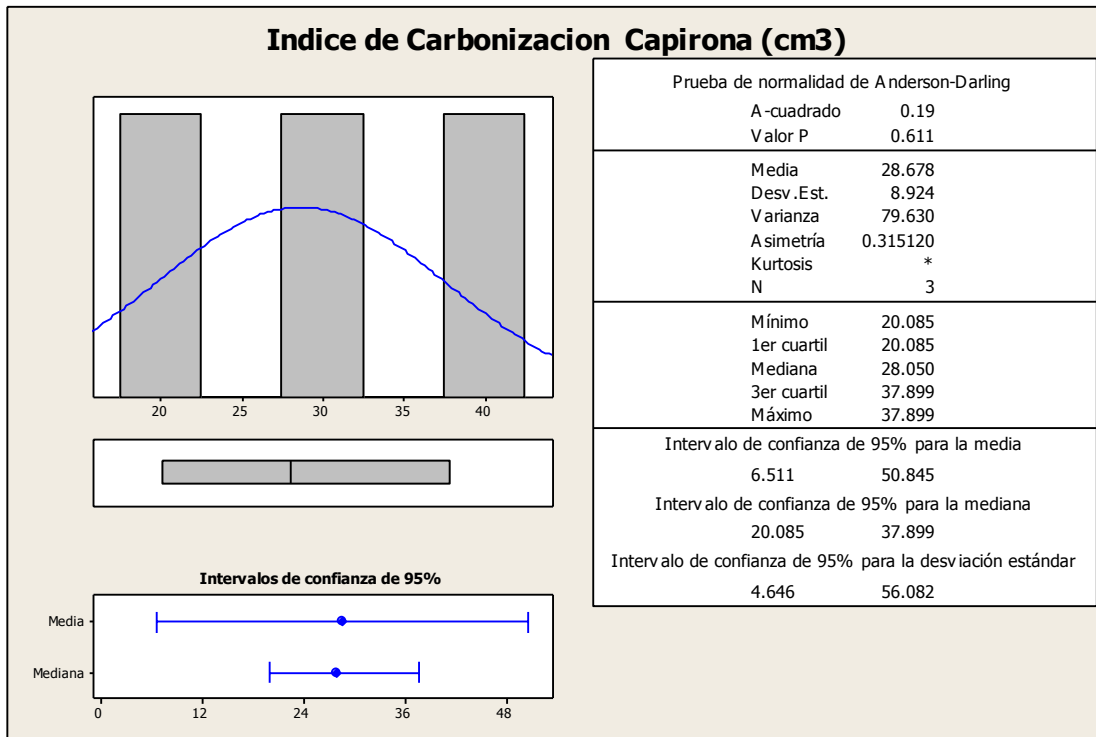


Figura 4.20 histograma de frecuencia para una distribución de tipo (normal) índices de carbonización sin aditivo Madera Capirona.

Tabla 4.1 Índice de carbonización en madera capirona, sin resina y sin aditivo.

Prueba	Índice de carbonización (cm ³)
1	28,05
2	20,08
3	37,89

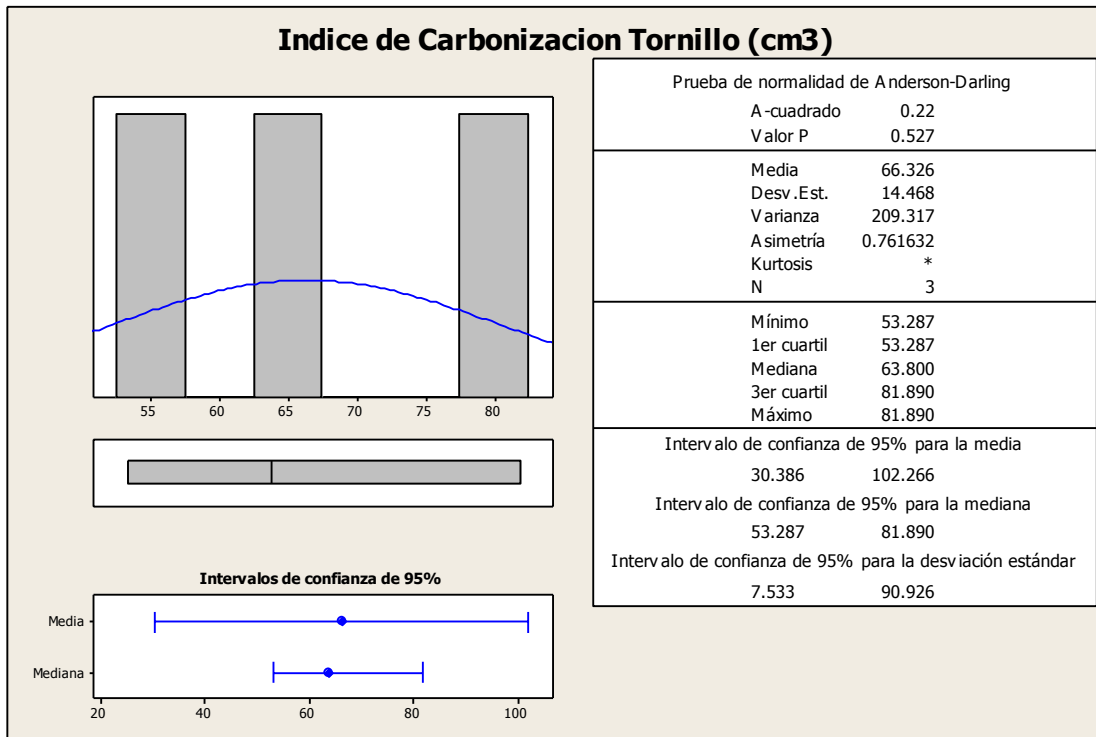


Figura 4.21 histograma de frecuencia para una distribución de tipo (normal) índices de carbonización sin aditivo Madera Tornillo.

Tabla 4.2 Índice de carbonización en madera tornillo, sin resina y sin aditivo.

Prueba	Índice de carbonización (cm ³)
1	63,80
2	53,28
3	81,89

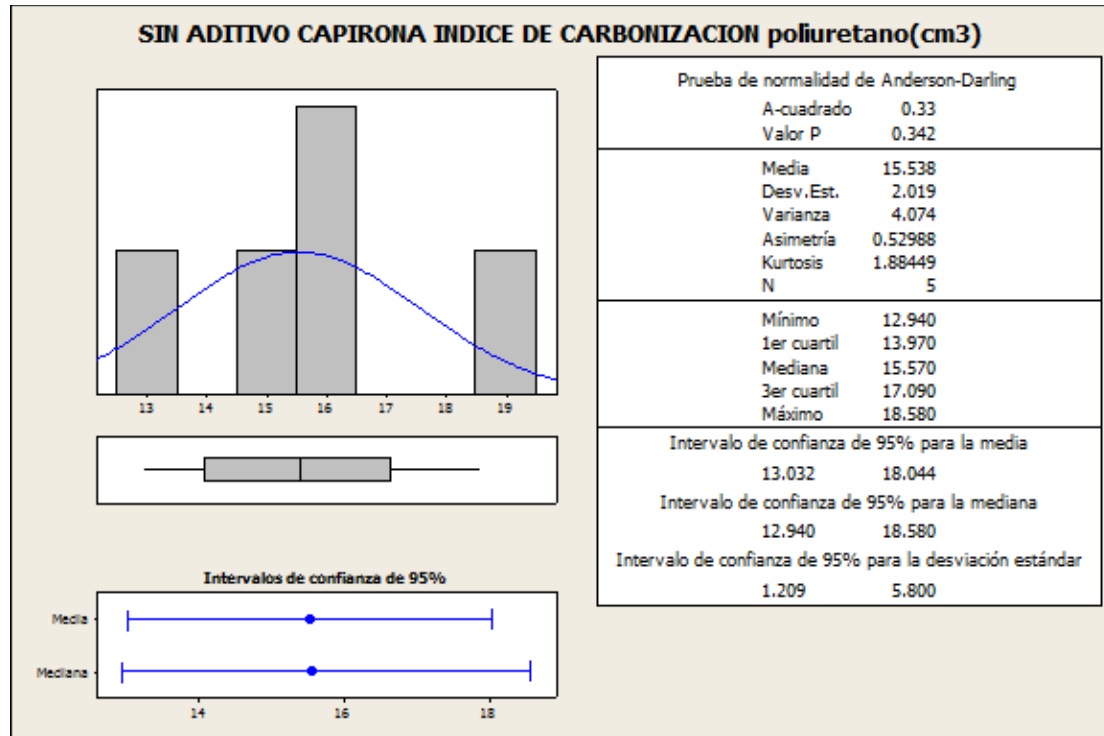


Figura 4.22 histograma de frecuencia para una distribución de tipo (normal) índices de carbonización sin aditivo Madera capirona Resina Poliuretano

Tabla 4.3 Índice de carbonización en madera capirona, con resina de Poliuretano, sin aditivo

Prueba	Índice de carbonización (cm ³)
1	12,94
2	15,57
3	15,60
4	18,58
5	15,00

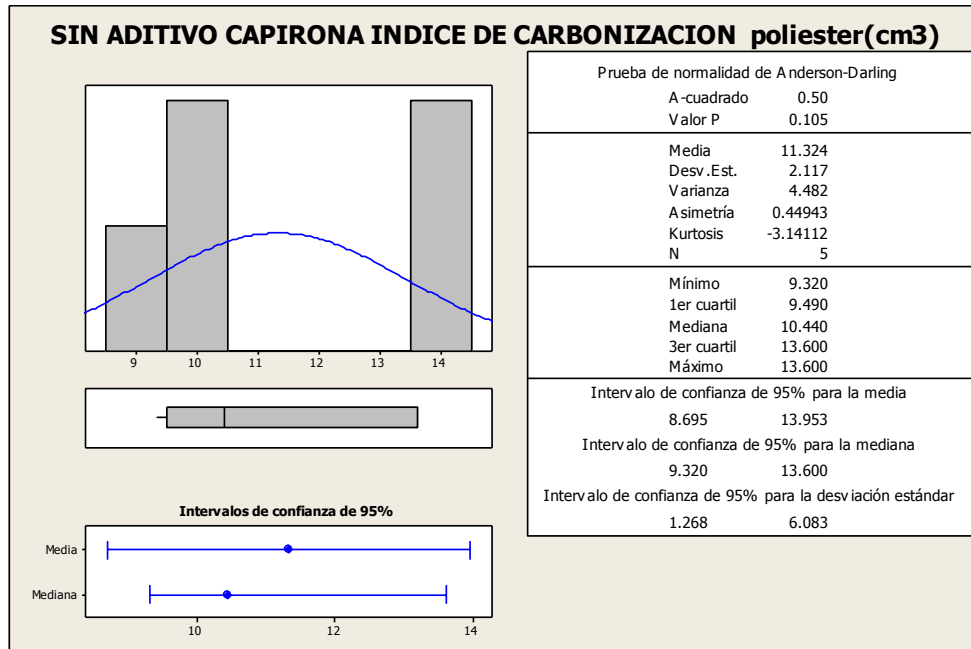


Figura 4.23 histograma de frecuencia para una distribución de tipo (normal) índices de carbonización sin aditivo Madera capirona Resina Poliéster

Tabla 4.4 Índice de carbonización en madera capirona, con resina de Poliéster, sin aditivo

Prueba	Índice de carbonización (cm ³)
1	9,32
2	9,66
3	10,44
4	13,60
5	12,60

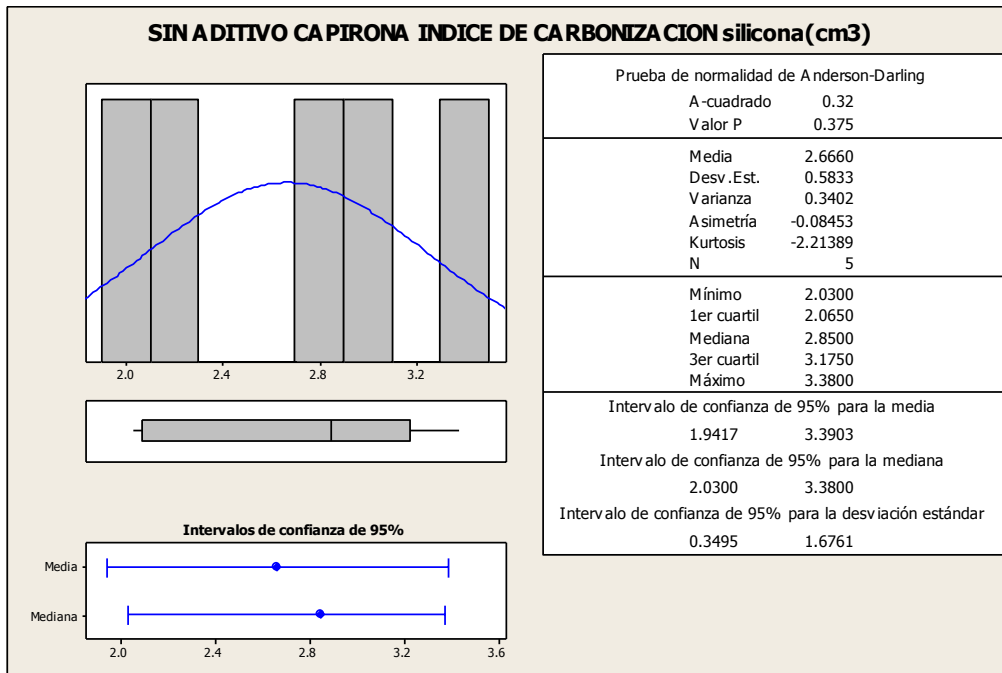


Figura 4.24 histograma de frecuencia para una distribución de tipo (normal) índices de carbonización sin aditivo Madera Capirona Resina de Silicona.

Tabla 4.5 Índice de carbonización en madera Capirona, con resina de Silicona, sin aditivo

Prueba	Índice de carbonización (cm ³)
1	2,97
2	2,85
3	2,10
4	2,03
5	3,38

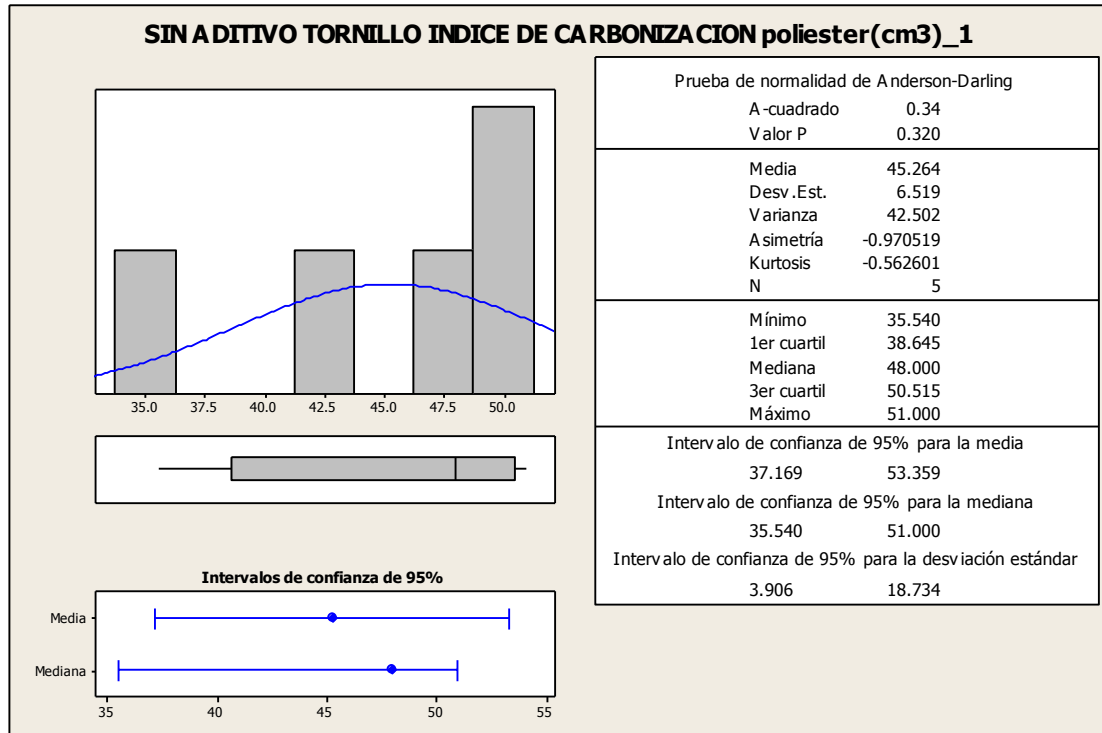


Figura 4.25 histograma de frecuencia para una distribución de tipo (normal) índices de carbonización sin aditivo Madera Tornillo Resina de Poliéster.

Tabla 4.6 Índice de carbonización en madera Tornillo, con resina de Poliéster, sin aditivo

Prueba	Índice de carbonización (cm ³)
1	51,00
2	48,00
3	50,03
4	35,54
5	41,75

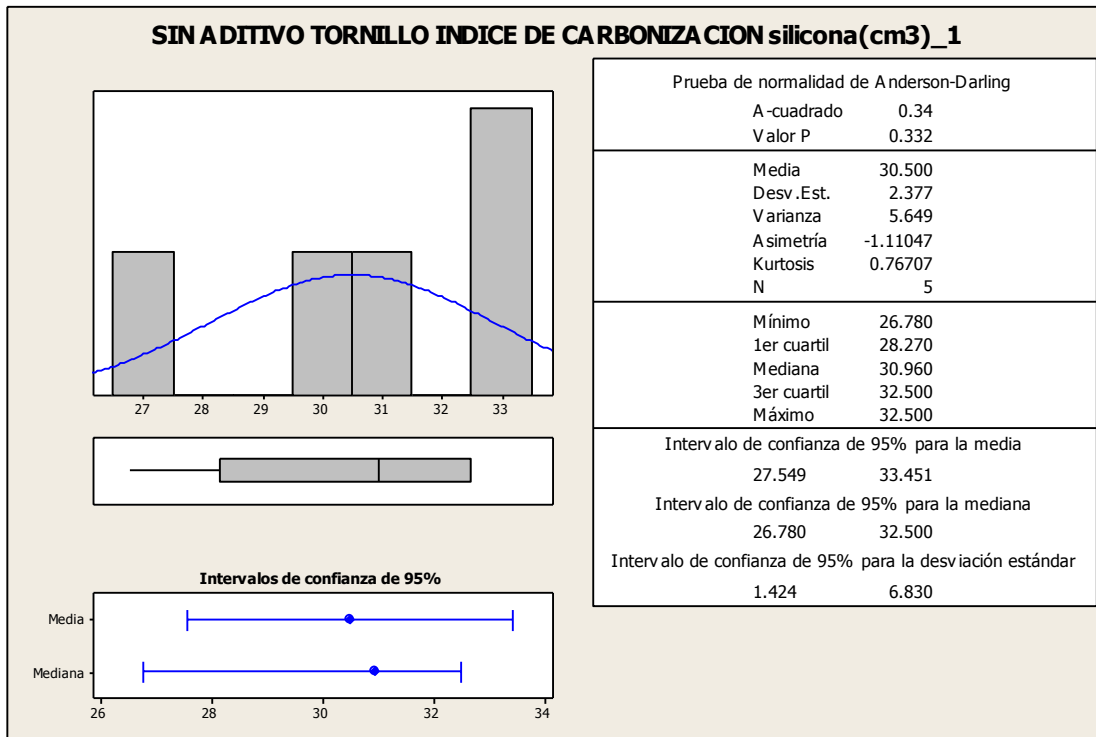


Figura 4.26 histograma de frecuencia para una distribución de tipo (normal) índices de carbonización sin aditivo Madera tornillo Resina de Silicona.

Tabla 4.7 Índice de carbonización en madera Tornillo, con resina de Silicona, sin aditivo

Prueba	Índice de carbonización (cm ³)
1	32,50
2	29,76
3	26,78
4	32,50
5	30,96

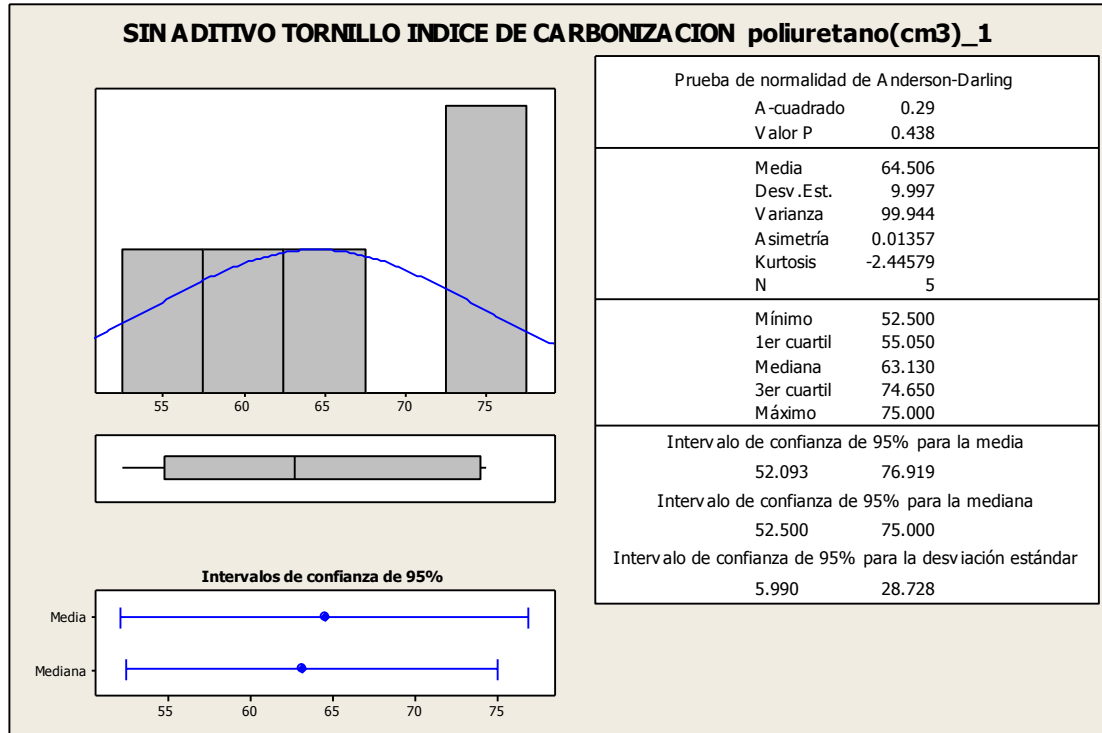


Figura 4.27 histograma de frecuencia para una distribución de tipo (normal) índices de carbonización sin aditivo Madera Tornillo Resina de Poliuretano.

Tabla 4.8 Índice de carbonización en madera Tornillo, con resina de Poliuretano, sin aditivo

Prueba	Índice de carbonización (cm ³)
1	74,30
2	52,50
3	75,00
4	57,60
5	63,13

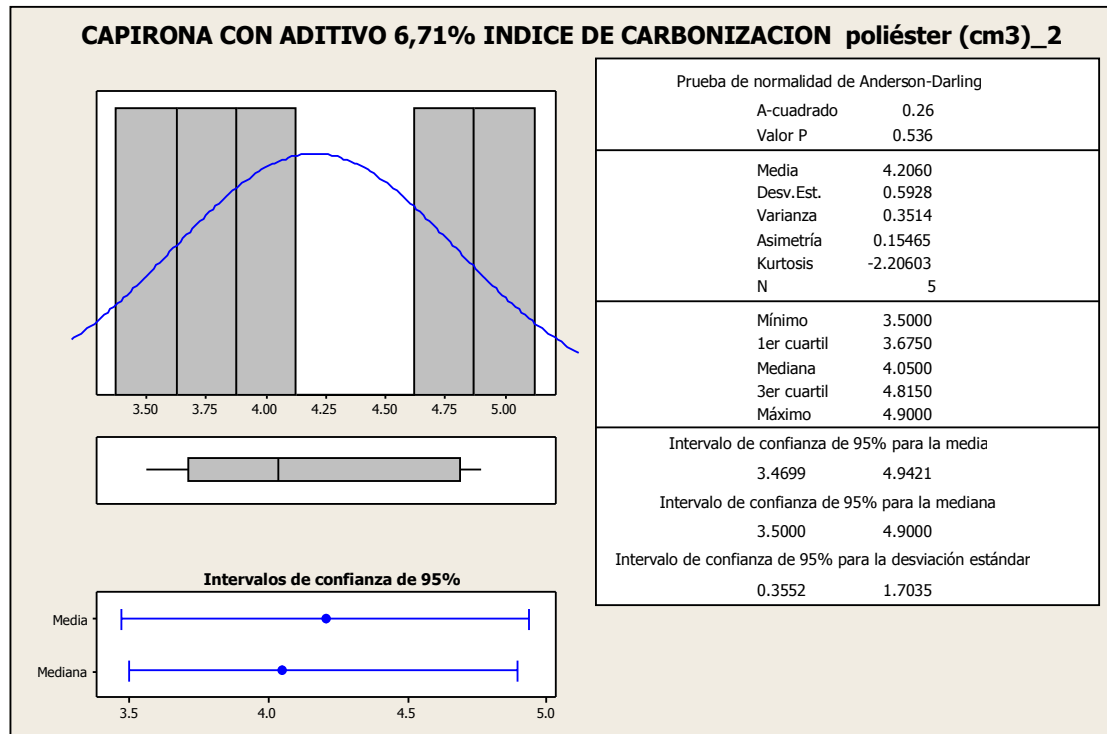


Figura 4.28 histograma de frecuencia para una distribución de tipo (normal) índices de carbonización con aditivo Madera Capirona al 6,71 % Resina de Poliéster.

Tabla 4.9 Índice de carbonización en Madera Capirona, con resina de Poliéster, con aditivo al 6,71%.

Prueba	Índice de carbonización (cm ³)
1	4,73
2	3,50
3	4,05
4	3,85
5	4,90

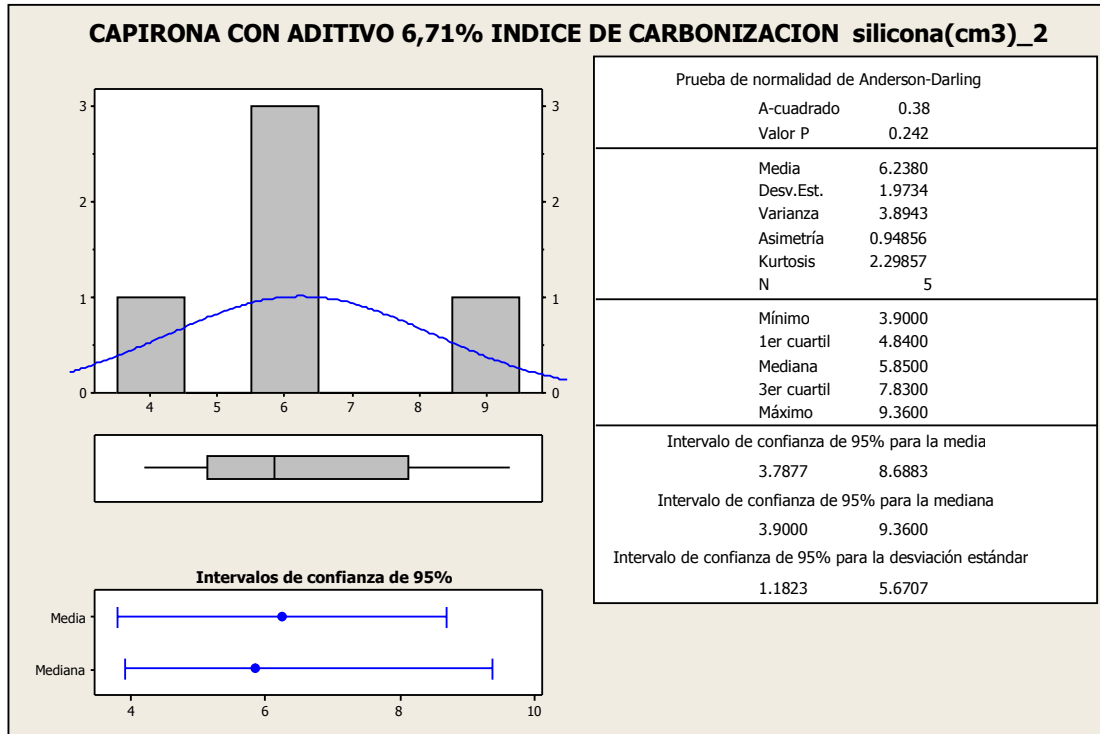


Figura 4.29 histograma de frecuencia para una distribución de tipo (normal) índices de carbonización Madera Capirona con aditivo al 6,71 % Resina de Silicona.

Tabla 4.10 Índice de carbonización en Madera Capirona, con resina de Silicona, con aditivo al 6,71%.

Prueba	Índice de carbonización (cm ³)
1	3,90
2	6,30
3	5,85
4	9,36
5	5,78

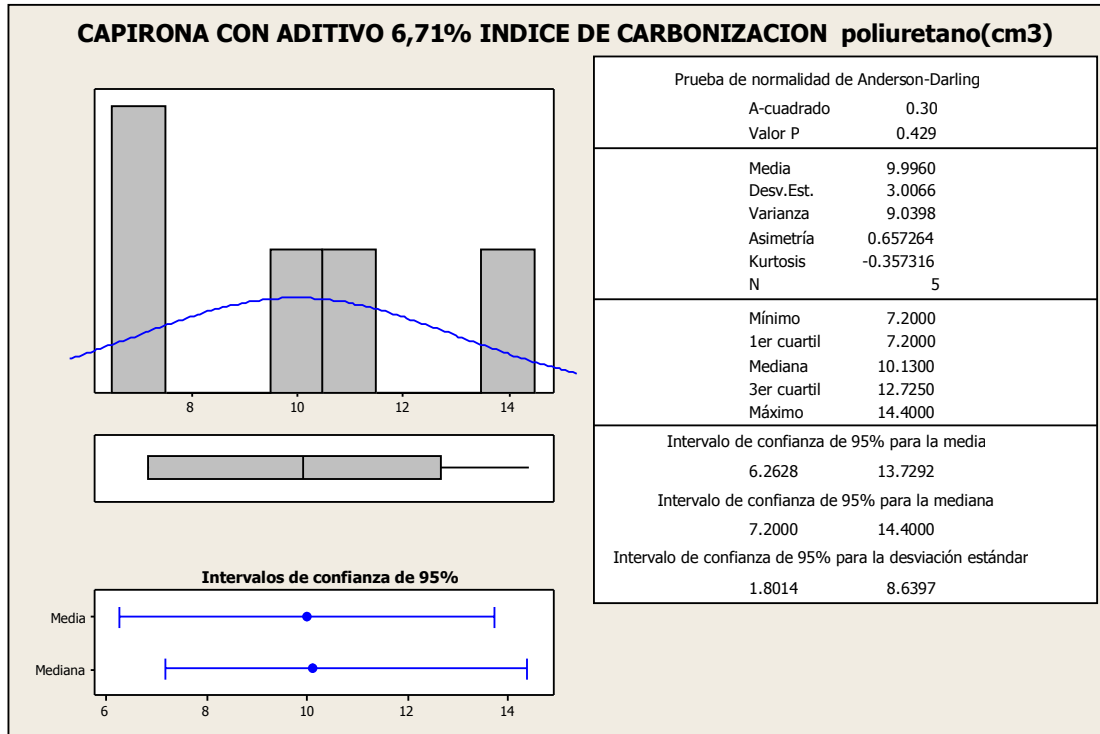


Figura 4.30 histograma de frecuencia para una distribución de tipo (normal) índices de carbonización Madera Capirona con aditivo al 6,71 % Resina de Poliuretano.

Tabla 4.11 Índice de carbonización en Madera Capirona, con resina de Poliuretano, con aditivo al 6,71%.

Prueba	Índice de carbonización (cm ³)
1	11,05
2	7,20
3	7,20
4	10,13
5	14,40

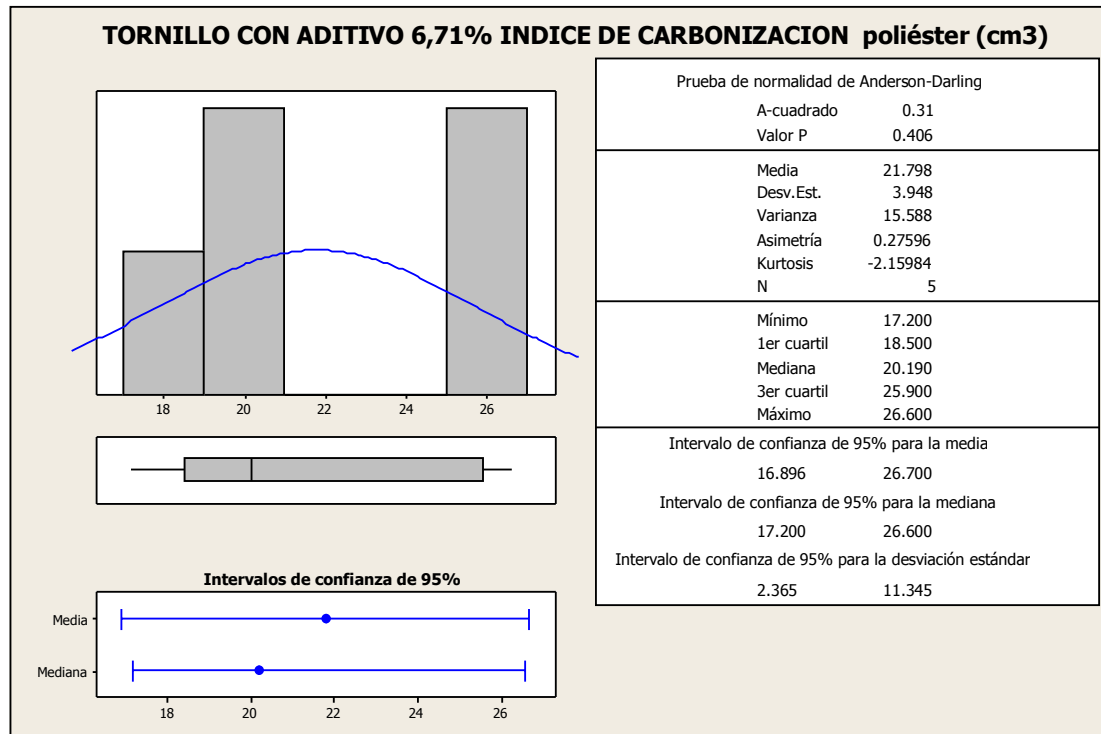


Figura 4.31 histograma de frecuencia para una distribución de tipo (normal) índices de carbonización Madera Tornillo con aditivo al 6,71 % Resina de Poliéster.

Tabla 4.12 Índice de carbonización en Madera Tornillo, con resina de Poliéster, con aditivo al 6,71%.

Prueba	Índice de carbonización (cm ³)
1	26,60
2	19,80
3	25,20
4	17,20
5	20,19

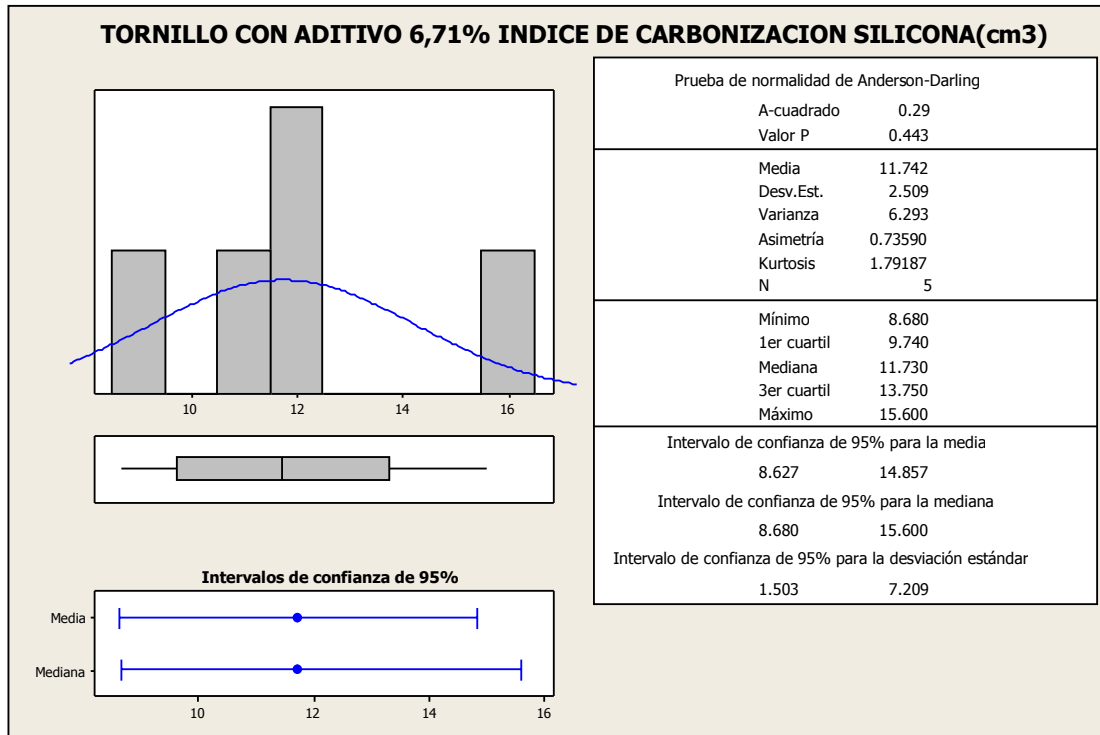


Figura 4.32 histograma de frecuencia para una distribución de tipo (normal) índices de carbonización Madera Tornillo con aditivo al 6,71 % Resina de Silicona.

Tabla 4.13 Índice de carbonización en Madera Tornillo, con resina de Silicona, con aditivo al 6,71%.

Prueba	Índice de carbonización (cm ³)
1	8,68
2	11,90
3	11,73
4	10,80
5	15,60

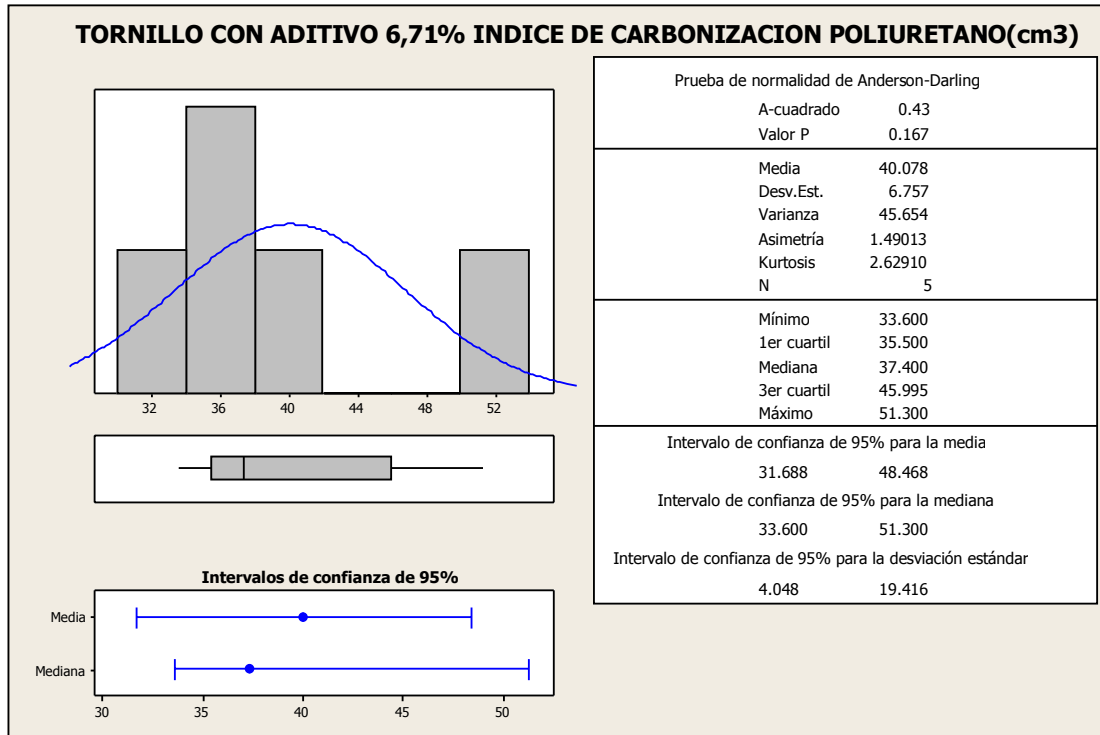


Figura 4.33 histograma de frecuencia para una distribución de tipo (normal) índices de carbonización Madera Tornillo con aditivo al 6,71 % Resina de Poliuretano.

Tabla 4.14 Índice de carbonización en Madera Tornillo, con resina de Poliuretano, con aditivo al 6,71%.

Prueba	Índice de carbonización (cm ³)
1	37,40
2	40,69
3	33,60
4	37,40
5	51,30

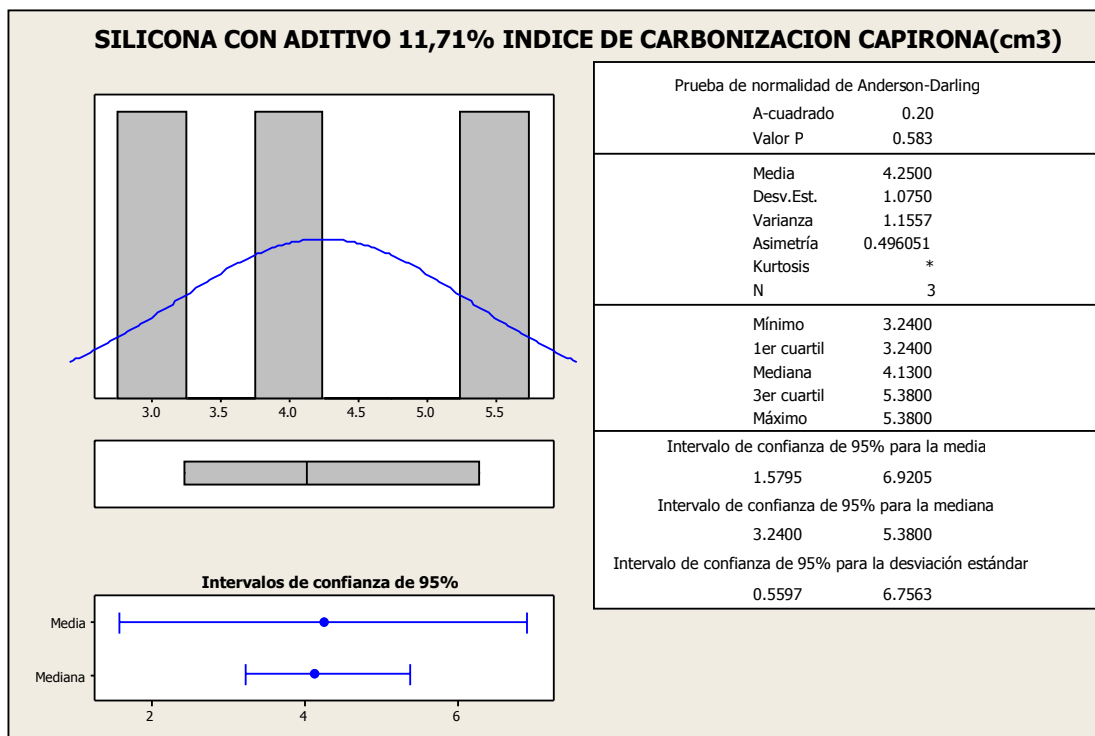


Figura 4.34 histograma de frecuencia para una distribución de tipo (normal) índices de carbonización Madera Capirona con aditivo al 11,71 %.

Tabla 4.15 Índice de carbonización en Madera Capirona, con resina de Silicona, con aditivo al 11,71%.

Prueba	Índice de carbonización (cm ³)
1	3,24
2	4,13
3	5,38

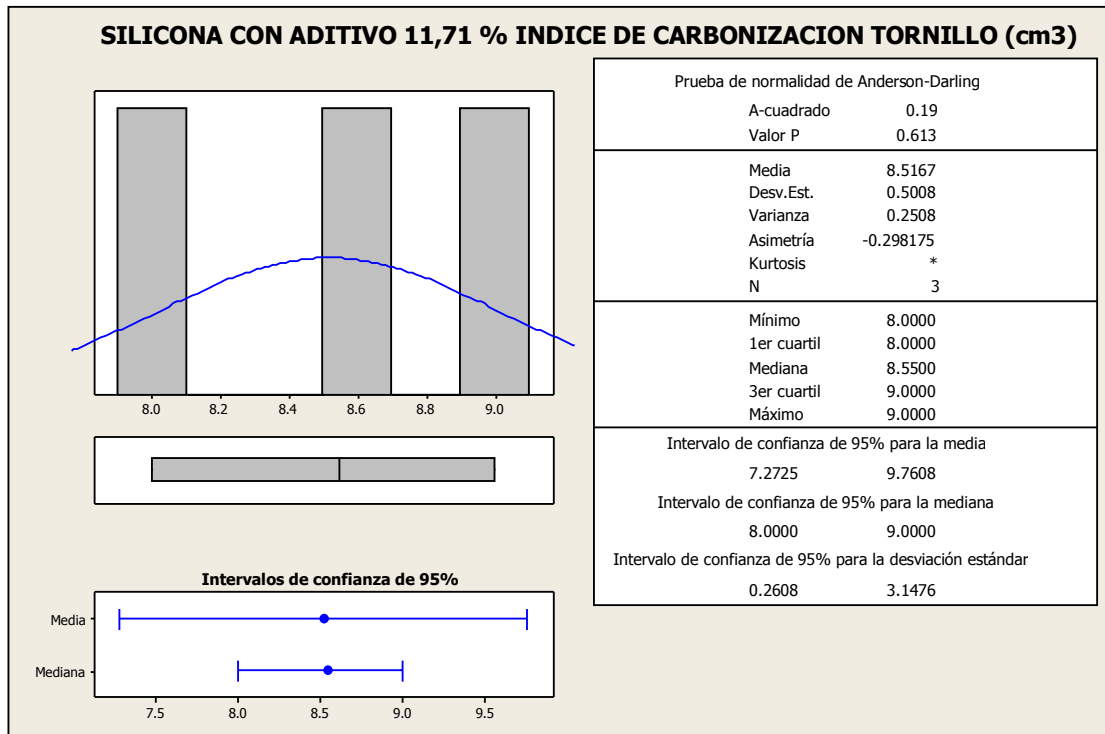


Figura 4.35 histograma de frecuencia para una distribución de tipo (normal) índices de carbonización Madera Tornillo con aditivo al 11,71 %.

Tabla 4.16 Índice de carbonización en Madera Tornillo, con resina de Silicona, con aditivo al 11,71%.

Prueba	Índice de carbonización (cm ³)
1	8,00
2	8,55
3	9,00

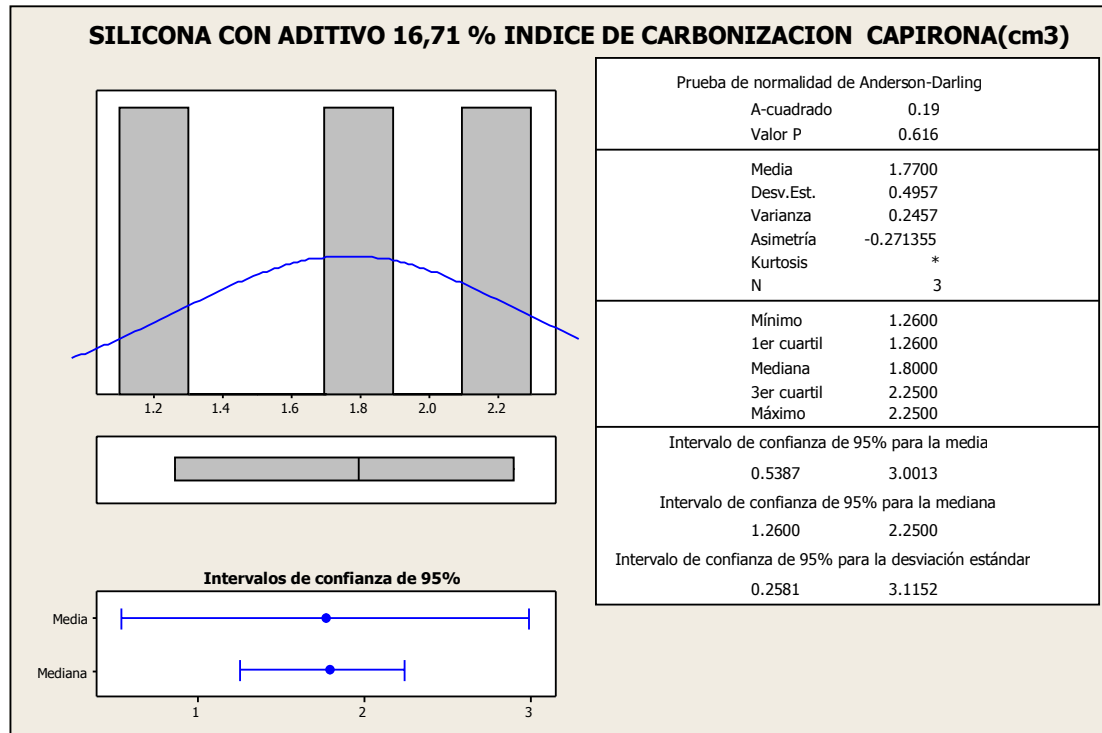


Figura 4.36 histograma de frecuencia para una distribución de tipo (normal) índices de carbonización Madera Capirona con aditivo al 16,71 %.

Tabla 4.17 Índice de carbonización en Madera Capirona, con resina de Silicona, con aditivo al 16,71%.

Prueba	Índice de carbonización (cm ³)
1	1,80
2	2,25
3	1,26

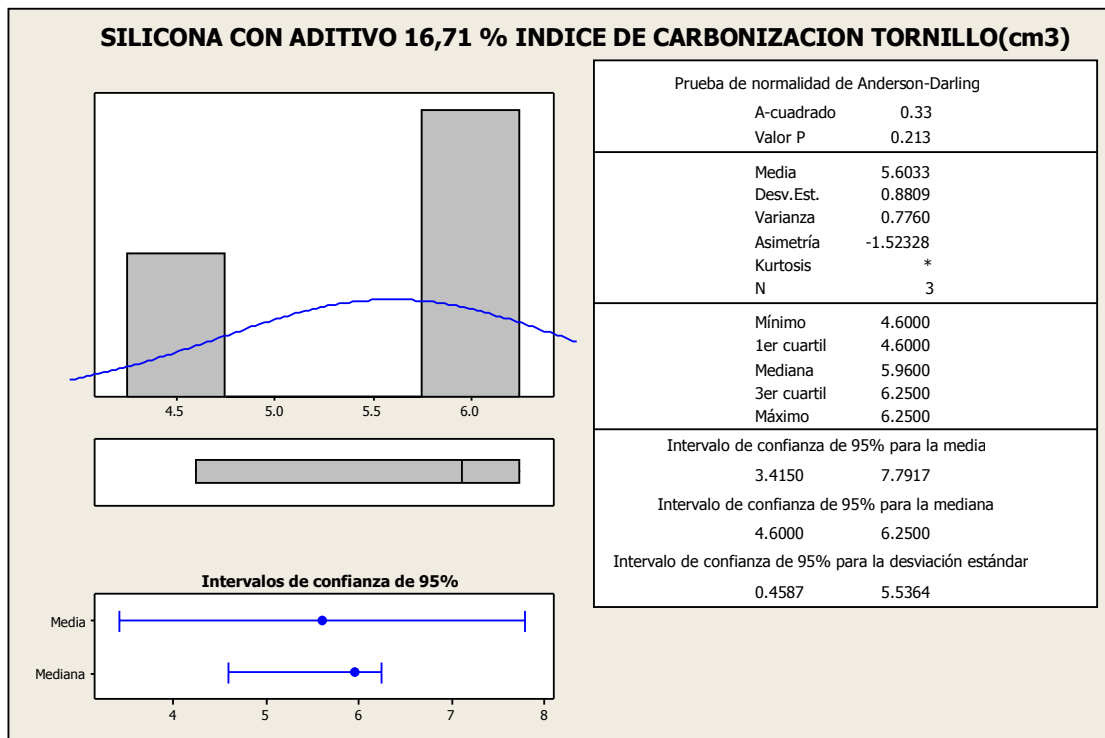


Figura 4.37 histograma de frecuencia para una distribución de tipo (normal) índices de carbonización Madera Tornillo con aditivo al 16,71 %.

Tabla 4.18 Índice de carbonización en Madera Tornillo, con resina de Silicona, con aditivo al 16,71%.

Prueba	Índice de carbonización (cm ³)
1	4,60
2	6,25
3	5,96

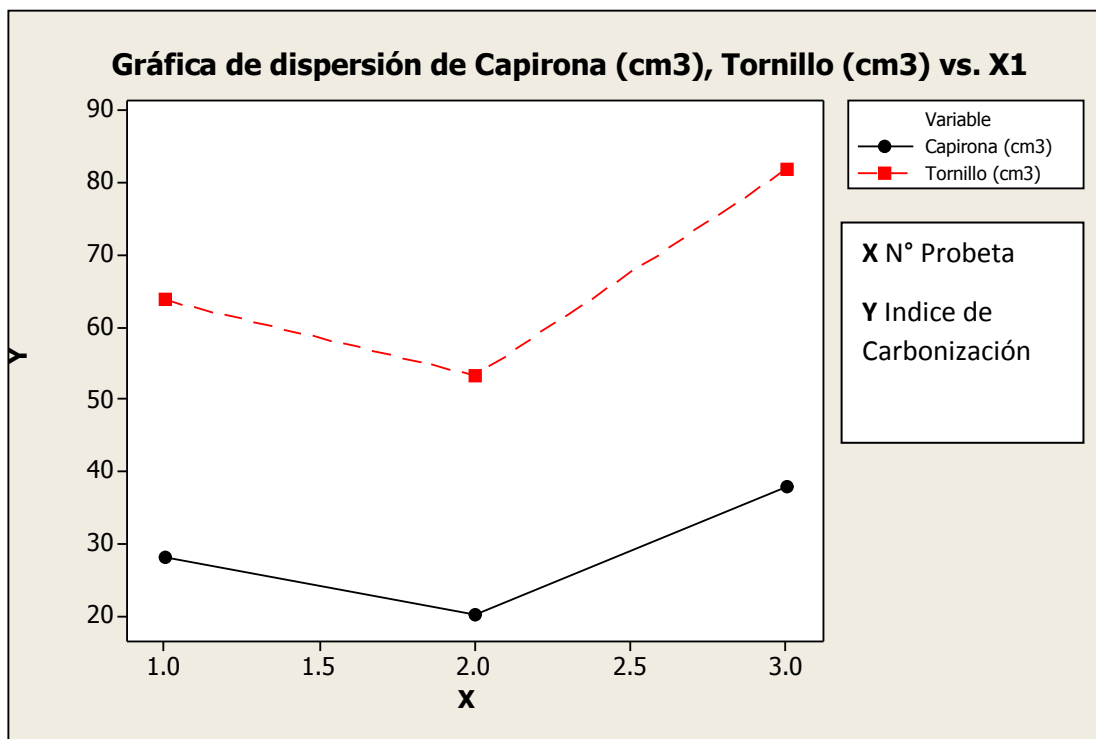


Figura 4.38 Diagrama de dispersión del índice de carbonización, para la Madera Capirona y Madera Tornillo.

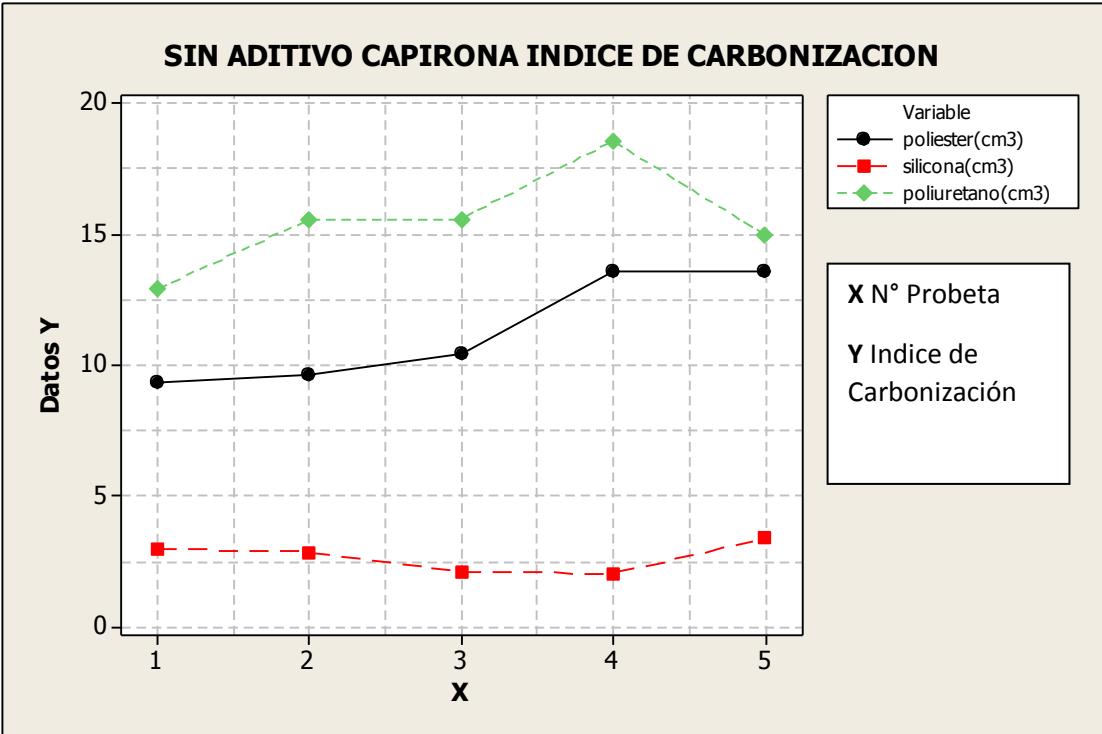


Figura 4.39 Diagrama de dispersión del índice de carbonización, para la Madera Capirona, con las tres resinas (sin Aditivo).

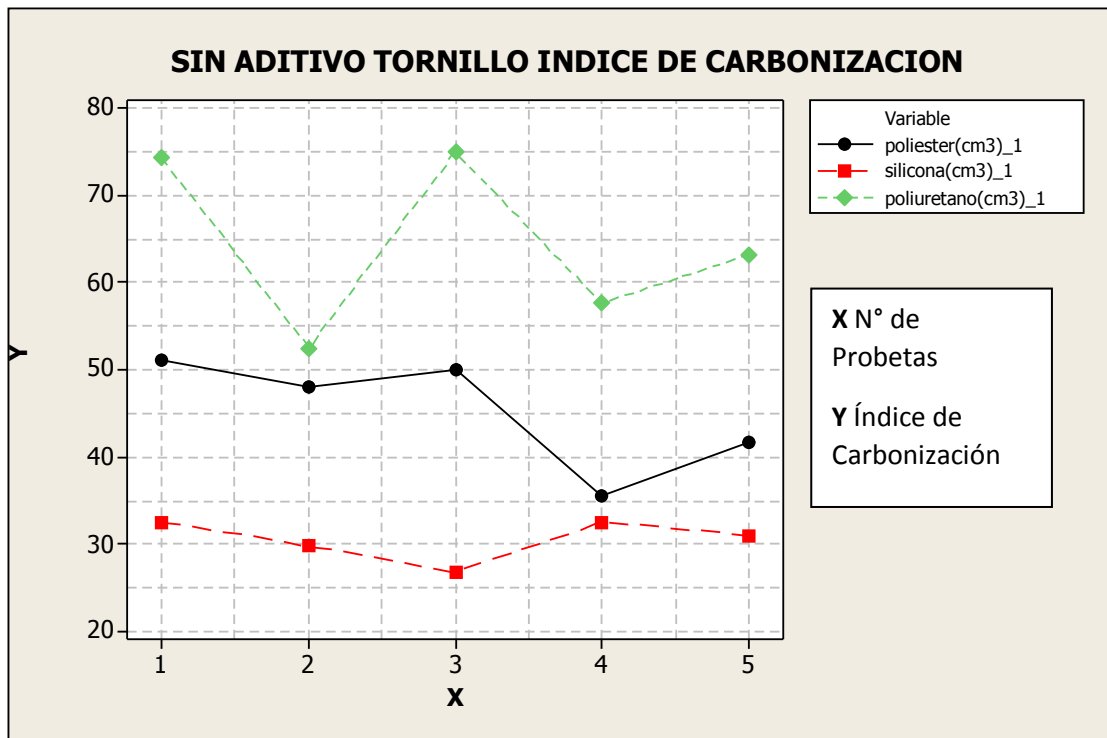


Figura 4.40 Diagrama de dispersión del índice de carbonización, para Madera Tornillo con las tres resinas (sin aditivos)

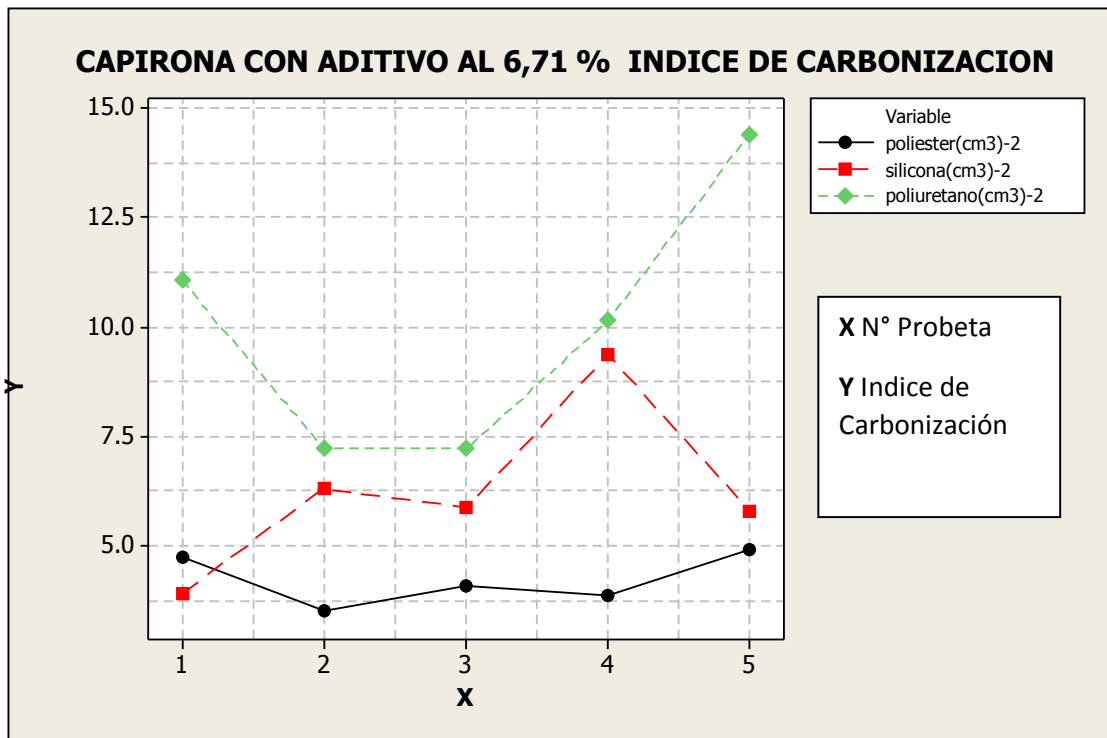


Figura 4.41 Diagrama de dispersión del índice de carbonización, para Madera Capirona con las tres resinas, con 6,71 % de aditivo

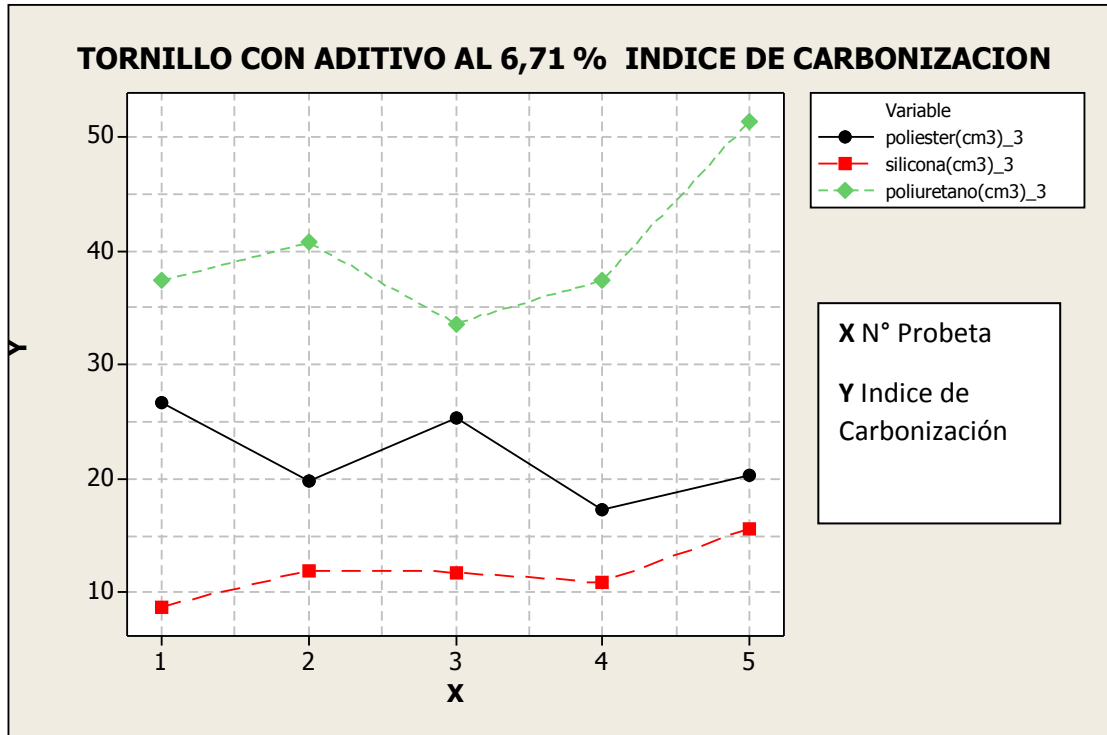


Figura 4.42 Diagrama de dispersión del índice de carbonización, para Madera

Tornillo con las tres resinas, con 6,71 % de aditivo.

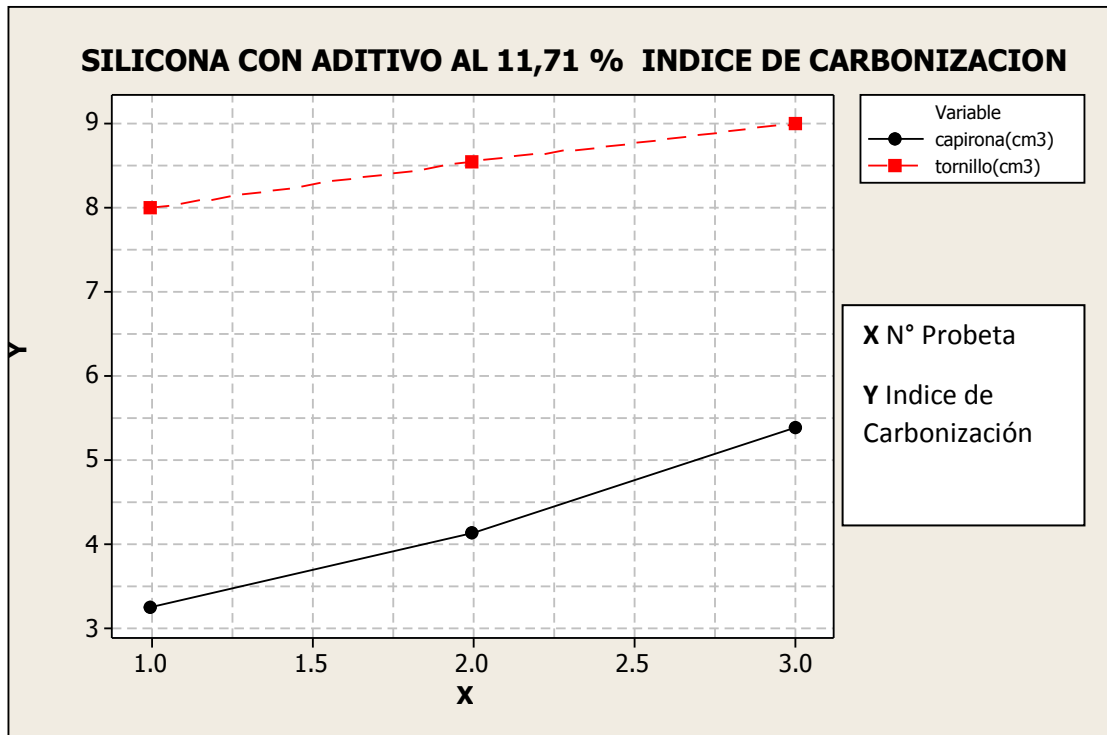


Figura 4.43 Diagrama de dispersión del índice de carbonización para las Maderas con Resina Silicona y con 11,71% de aditivo.

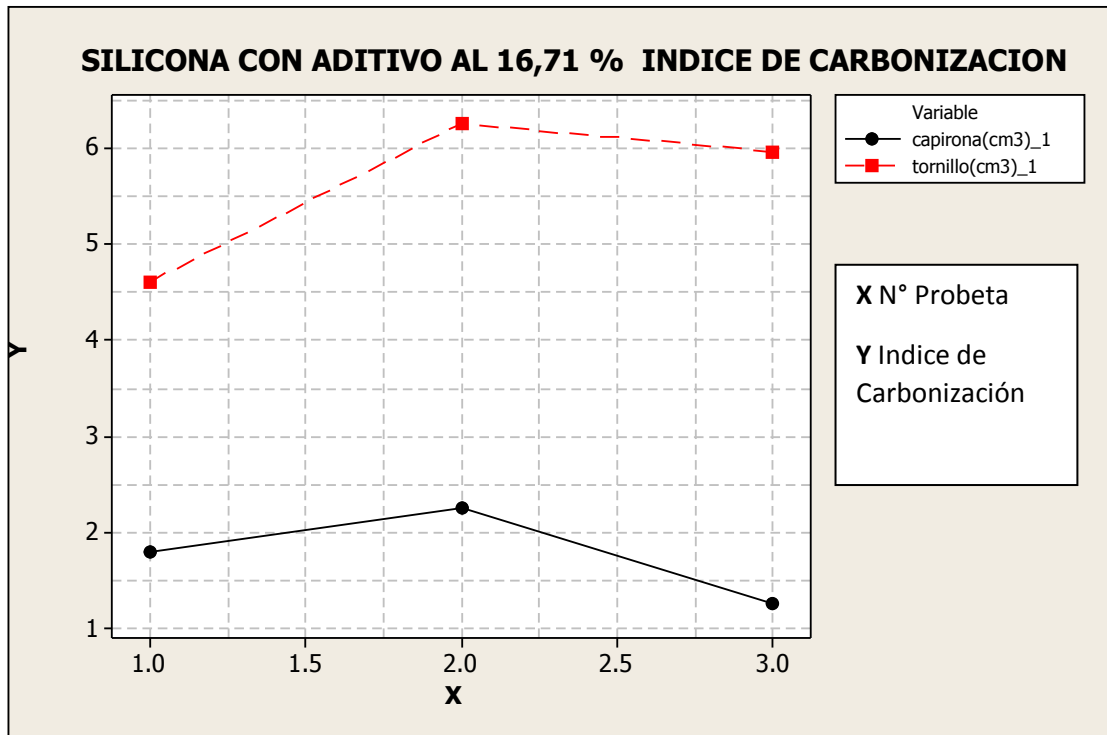


Figura 4.44 Diagrama de dispersión del índice de carbonización, para las Maderas con resina Silicona y 16,71 % de aditivo.

INDICES DE CARBONIZACIÓN DE LAS MADERAS CAPIRONA Y TORNILLO CON LAS RESINAS SIN ADITIVO Y CON ADITIVO AL 6,71% (VALORES PROMEDIO)

Tabla 1

Tipo de Madera	Resina de Poliuretano sin aditivo	Resina de Poliéster sin aditivo	Resina de silicona sin aditivo	Resina de Poliuretano al 6,71%	Resina de Poliéster al 6,71%	Resina de Silicona Al 6,71%
Capirona	15,54	11,32	2,67	10,00	4,21	6,24
Tornillo	64,51	45,26	30,50	40,10	21,80	11,74

INDICES DE CARBONIZACIÓN VARIANDO LA CONCENTRACIÓN DEL ADITIVO

Tabla 2

Tipo de Madera	Madera sola	Silicona al 6,71%	Silicona al 11,71%	Silicona al 16,71%
Capirona	28,68	6,24	4,25	1,77
Tornillo	66,33	11,74	8,52	5,60

CAPÍTULO V

ANÁLISIS DE COSTO BENEFICIO

En este apartado del trabajo de investigación se resaltarán los aspectos económicos y benéficos en lo que se refiere al uso de los retardantes del fuego (trihidrato de aluminio y trióxido de antimonio).

Los retardantes de llama solo se usan cuando el mercado lo exige. Los cambios en el mercado pueden aumentar o disminuir el uso de retardantes de llama. A pesar de que existen pocas regulaciones en América del Sur, las compañías multinacionales que producen subconjuntos para los mercados de Estados Unidos, Japón o Europa cumplen con los requisitos de retardantes de llama del país importador. Para aliviar los problemas de inventario y producción, las mismas compañías fabrican ensambles ignífugos para el consumo doméstico.

Las resinas de poliuretano y poliestireno son aislantes térmicos eficientes por unidad de espesor, pero son más combustibles que los materiales tradicionales, como lana de roca o fibra de vidrio. Se requieren retardantes al fuego, por lo tanto, a medida que estos materiales se utilizan reemplazan el aislamiento convencional.

a) El trihidrato de aluminio como retardante al fuego: este compuesto cumple con la mayoría de los requisitos para un relleno eficaz: color blanco o casi blanco; producción de gran escala, precio competitivo y una buena estabilidad de suministro; consistencia de propiedades físicas y químicas; un buen rango de distribuciones de tamaño de partícula; inercia química y sin toxicidad.

Sin embargo, su creciente popularidad como relleno de plástico está fuertemente relacionado con sus propiedades retardantes al fuego y supresoras de humo, que justifican el precio algo más alto en comparación con el carbonato de calcio y otros rellenos minerales.

b) Óxido de antimonio (Sb_2O_3) : Los usos del antimonio se pueden dividir en tres categorías: usos en aleaciones, usos en forma de óxido y otros usos de productos químicos de antimonio alrededor del 50% de la producción primaria de antimonio se utiliza para retardantes de llama en plásticos, mientras que solo cerca del 20% se usa en productos metálicos.

En 2003, la producción de la mina de antimonio se estimó en alrededor de 81 600 t. Solo tres de los países en los que se extrae el antimonio tienen capacidades de producción minera que podrían influir en la situación del mercado mundial: China (86%), Bolivia (2,8%) y la República de Sudáfrica (6,4%).

Las principales capacidades para la producción de antimonio metálico y óxido de antimonio también se pueden encontrar en México, en los Estados Unidos y en Australia. En 1991, las capacidades de producción de antimonio se estimaron en alrededor de 110 000 t, en todo el mundo. La producción de antimonio en 1990 fue de 52 685 t, dado que la participación de China en la producción mundial de antimonio fue de alrededor del 40% en 1990 y ha aumentado desde entonces.

En la siguiente figura puede observarse la variación del precio del óxido de antimonio a nivel mundial para el periodo de 1993-1996.

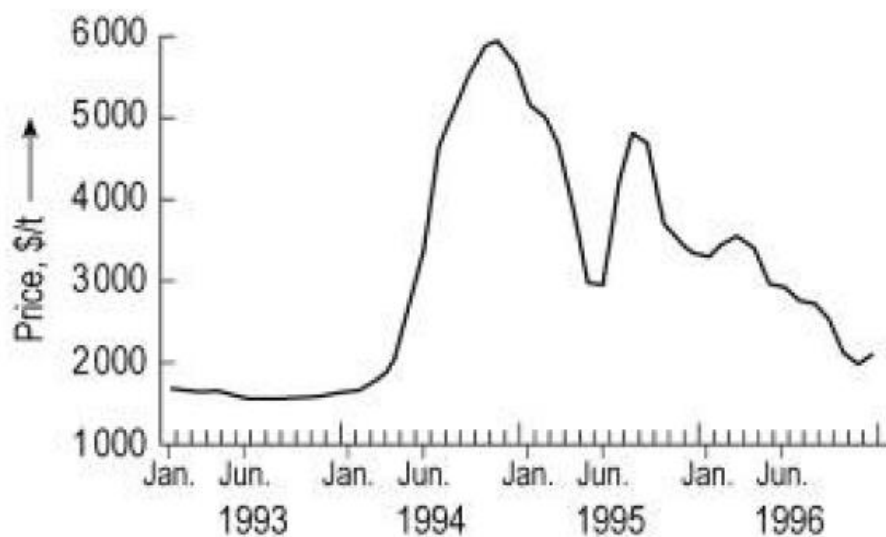


Figura 5.1 Precio del Antimonio Metálico

El precio ha sufrido grandes variaciones, especialmente en 1994. El dramático aumento del precio del antimonio en 1994 desde \$ 1700 / t. en enero a \$ 5900 / t. en noviembre fue causado por las dificultades en el suministro de China, los estados de la ex Unión Soviética y Bolivia. Una vez más, el papel de China fue el principal factor que influyó en el mercado de antimonio.

Poco después del pico del precio en 1994/1995, el precio del antimonio nuevamente alcanzó un valor promedio de alrededor de 2000 \$ / t. Se espera que la producción de antimonio en China disminuya hasta en un 40% en 1997/1998 debido a los altos costos de producción de \$ 2500 a \$ 2800 / t.

La fuerte dependencia del precio del antimonio en China ha llevado a planes para la reapertura de antiguas minas de antimonio (por ejemplo, Thomson Falls). Además, se abrirá una nueva planta de trióxido de antimonio en Canadá en 1998. Nuevas fuentes podrían dar como resultado un mayor grado de estabilidad en la industria del antimonio en todo el mundo.

El crecimiento futuro y la demanda de antimonio continuarán dependiendo de las tendencias del consumo de trióxido de antimonio en los retardantes de llama, que representan el 45% de la demanda mundial de antimonio.

COSTOS DE MATERIAS PRIMAS.

Aditivos totales.

Se trabajó con 19,25 g de Aditivo (Al_2O_3) + (Sb_2O_3) al 6,71 % en las tres Resinas de Poliéster, Poliuretano y Silicona

Masa de Óxido de Aluminio = 12,83 g

Masa de Óxido de Antimonio = 6,42 g

En la Resina de Silicona se trabajó con dos porcentajes de Aditivos:

Silicona con Aditivo al 11,71 % da un peso total de Aditivo de 33,59 g

Masa de Óxido de Aluminio = 22,39 g

Masa de Óxido de Antimonio = 11,20 g

Silicona con Aditivo al 16,71 % da una masa total de Aditivo de 47,94 g

Masa de Óxido de Aluminio = 31,96 g

Masa de Óxido de Antimonio = 15,98 g

Total de Aditivo utilizado en porcentaje de Aditivo

Al 6,71 % en las tres Resinas (Poliéster, Poliuretano, Silicona)

Masa de Óxido de Aluminio = 38,49 g

Masa de Óxido de Antimonio = 19,26 g

Resina Sola utilizada en la prueba sin Aditivo por probeta:

Masa total de Resina Sola (Poliéster, Poliuretano y Silicona) = 267,5 g c/u

Utilizando en la prueba 10 Probetas de Madera Capirona y 10 probetas de Madera Tornillo se obtiene lo siguiente:

Resina de Poliéster sin Aditivos = 13,38 g x Probeta

Resina de Silicona sin Aditivos = 13,38 g x Probeta

Resina de Poliuretano sin Aditivos = 13,38 g x Probeta

Trabajando al porcentaje de 6,71 % de Aditivos en Resina de Silicona, Poliéster y Poliuretano se obtienen las siguientes masas por Probeta:

Masa de Resina Sola = 13,38 g x probeta

Masa de Óxido de Aluminio = 0,642 g x Probeta

Masa de Óxido de Antimonio = 0,321 g x Probeta

Al trabajar con los porcentajes de Aditivo de 11,71 % y 16,71 % en la resina de Silicona y al hacer esta, la que obtuvo el mejor porcentaje de carbonización se trabajaron solo con 10 probetas, 5 de Madera Capirona y 5 de Madera Tornillo

Resina de Silicona con Aditivo al 11,71 %

Masa de Resina Sola = 13,38 g x Probeta

Masa de Óxido de Aluminio = 2,24 g x Probeta

Masa de Óxido de Antimonio = 1,12 g x Probeta

Resina de Silicona con Aditivos al 16,71 %

Masa de Resina Sola = 13,38 g x probeta

Masa de Óxido de Aluminio = 3,20 g x Probeta

Masa de Óxido de Antimonio = 1,60 g x Probeta

Tabla 3

Aditivos	Costo de envase en soles	Costo en soles / gr
100 g de Óxido de Antimonio	S/. 118,36	S/. 1,18/ g
1000 g de Óxido de Aluminio	S/. 269,98	S/. 0,27/ g

Tabla 4

Resinas	Costo en soles	Costo en soles / g
1 kg de Resina poliéster	S/. 20	S/. 0,025/ g
1 kg de Resina poliuretano	S/. 48	S/. 0,05 /g
1 kg de Resina Silicona	S/. 60	S/. 0,10 / g

Tabla 5

Etanol Absoluto	Costo en soles	Costo en soles / ml
1 gl Etanol Absoluto	S/. 200	S/. 0,10/ ml

5.1 Tabla de costos de resina, costos de madera Capirona y Tornillo, Resina de Poliéster, Poliuretano y Silicona solas y con Aditivos (Oxido de Aluminio y Oxido de Antimonio) al 6,71%, 11,71% y 16,71% por probeta.

Tabla 6

Descripción	Soles/ Probeta
Madera Capirona	S/. 3,41 / Probeta
Madera Tornillo	S/. 4,59 / probeta
Resina de Poliéster sola	S/. 0,30 / probeta
Resina de Poliuretano sola	S/. 0,64 / probeta
Resina de Silicona Sola	S/. 0,80 / probeta
Oxido de Aluminio al 6.71%	S/. 0,20 / probeta
Oxido de Antimonio al 6.71 %	S/. 0,40 / probeta
Oxido de Aluminio al 11.71 %	S/. 0,60 / probeta
Oxido de Antimonio al 11.71 %	S/. 1,33 / probeta
Oxido de Aluminio al 16.71 %	S/. 0,90 / probeta
Oxido de Antimonio al 16.71 %	S/. 1,90 / probeta

5.2 Costo Beneficio total de Madera Sola, Resina sin Aditivo y Resinas con Aditivo al 6,71%, 11,71%, 16,71%

Tabla 7

Descripción	Costo Beneficio S/. / m ²
Madera Capirona Sola	S/. 74,80 / m ²
Madera Tornillo Sola	S/. 96,70 / m ²
Resina de Poliéster sola en Madera Capirona	S/. 60,00 / m ²
Resina de Poliéster sola en Madera Tornillo	S/. 60,00 / m ²
Resina de Poliuretano sola en Madera Capirona	S/. 148,89 / m ²
Resina de Poliuretano sola en Madera Tornillo	S/. 148,89 / m ²
Resina de Silicona Sola en Madera Capirona	S/. 297,78 / m ²
Resina de Silicona Sola en Madera Tornillo	S/. 297,78 / m ²
Resina de Poliéster con 6,71 % de Aditivo en Madera Capirona	S/. 18,30 / m ²
Resina de Poliéster con 6,71 % de Aditivo en Madera Tornillo	S/. 18,30 / m ²
Resina de Poliuretano con 6,71 % de	S/. 27,84 / m ²

Aditivo en Madera Capirona	
Resina de Poliuretano con 6,71 % de Aditivo en Madera Tornillo	S/. 27,84 / m ²
Resina de Silicona con 6,71 % de Aditivo en Madera Capirona	S/. 47,62 / m ²
Resina de Silicona con 6,71 % de Aditivo en Madera Tornillo	S/. 47,62 / m ²
Resina de Silicona con 11,71 % de Aditivo en Madera Capirona	S/. 73,91 / m ²
Resina de Silicona con 11,71 % de Aditivo en Madera Tornillo	S/. 73,91 / m ²
Resina de Silicona con 16,71 % de Aditivo en Madera Capirona	S/. 91,30 / m ²
Resina de Silicona con 16,71 % de Aditivo en Madera Tornillo	S/. 91,30 / m ²

CONCLUSIONES

A continuación se resumen las principales conclusiones obtenidas en el presente trabajo de investigación.

- A una mayor concentración de aditivo de retardante al fuego, menor es el índice de carbonización en las probetas de Madera Capirona y Madera Tornillo.
- A los porcentajes de aditivos de retardantes al fuego de 11,71% y 16,71%, puesto en la Resina de Silicona sola, se determinó una reducción de la emisión de humo con respecto a la Silicona sola y a la de la Silicona con 6,71%.
- En el quemado de la Madera Capirona y Madera Tornillo solas sin Resina y sin Aditivo, se determinó que la Madera Capirona tiene mayor Resistencia al fuego que la Madera Tornillo, debido a que la Madera Capirona tiene mayor densidad que la Madera Tornillo.
- El índice de Carbonización de la Capirona, con resinas Poliester, Poliuretano y Silicona, es inferior al de las muestras de Madera de Tornillo, según el cuadro de comparación de la Medias.
- Los resultados de índice de carbonización para las muestras realizadas se ajustan a un modelo de distribución normal.

RECOMENDACIONES

- Analizar los resultados obtenidos con otros modelos probabilísticos como por ejemplo log-normal.
- Aplicar el estudio a un mayor tipo de muestras de madera determinando el tamaño mínimo de muestras.
- Determinar el grado de retardo al fuego basado en otras normas internacionales.
- Realizar pruebas con otro tipo de aditivos retardantes al fuego.
- Realizar una mayor cantidad de experiencias para verificar la reproducibilidad de los resultados experimentales obtenidos.
- Realizar pruebas a escala piloto, para analizar la reproductibilidad de los datos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1- Bellussi, G., Bohnet, M., Drauz, K., & Kleemann, A. (2007). *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. WILEY-VCH.
- 2- Charles A, H. (2004). *Manual de Plásticos*. Mexico: Mc Graw Hill.
- 3- Plásticos formulación y moldeo Herbert simonds y james church. editorial continental pág. 111, 112.
- 4- Galicia, U. d. (s.f.). *Madera y Fuego*. Galicia: Centro de Inovacion y servicios de la madera.
- 5- Química organica Morrison/Boyd editorial fondo educativo interamericano S.A. pág.: 1063, 1064.
- 6- Housecroft, C., & Sharpe, A. (2006). *Química Inorgánica*. España : Pearson Prentice Hall.
- 7- Instituto nacional de integración agraria madera capirona y madera tornillo
- 8- Norma Técnica ASTM D- 1360
- 9- Neira Rodriguez, J. A. (2015). instalaciones de protección contra incendios. En J. A. Neira Rodriguez, *instalaciones de proteccion contra incendios* (págs. 31-32-34-35-36-37-77-78-79). Bogota: FC.
- 10- Richardson, & Lokensgard. (2000). *Industria del Plástico*. España: Paraninfo.
- 11- Shriver, & Atkin. (2006). *química inorgánica*. china: Mc Graw Hill.
- 12- Trujillo Mejia, R. F. (2012). El fuego y sus implicaciones en la industria. En R. F. Trujillo Mejia, *El fuego y sus implicaciones en la industria* (págs. 149-150-175-176-177-178-202). Colombia: ECOE.
- 13- Wade, L. (2017). *Química Orgánica*. Mexico: Person Hispanoamericana.

ANEXOS

Anexo 1 Standard Test Method for Fire Retardancy of Paints. ASTM D 1360-98.....	94
Anexo 2 Municipalidad De Lima Metropolitana (declaración jurada)	
Sugerencia de Defensa Civil.....	95
Anexo 3 Certificate of Analysis of Aluminium Oxide and Antimony (III) Oxide for analysis.....	96
Anexo 4 Facturas.....	97



Standard Test Method for Fire Retardancy of Paints (Cabinet Method)¹

This standard is issued under the fixed designation D 1360; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope

1.1 This test method determines quantitatively the fire retardant properties of a coating or coating system on a wood surface and the leaching effect of water on the fire retardancy of the coating or coating system. Specifically, this test method determines the weight loss and char index of coated panels subjected to a flame and the effect of leaching of the coating on these parameters.

1.2 This test method should be used solely to measure and describe the properties of materials, products, or systems in response to heat and flame under controlled laboratory conditions and should not be considered or used for the description, appraisal, or regulation of the fire hazard of materials, products, or systems under actual fire conditions.

1.3 The values stated in inch-pound units are to be regarded as the standard. The values given in parentheses are for information only.

1.4 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 Federal Standard:²

Fed. Spec. TT-V-119—Varnish, Spar, Phenolic Resin

2.2 Military Standard:²

Mil. Spec. MIL-A-22397—Adhesive, Phenol and Resorcinol Resin Base for Marine Use

3. Terminology

3.1 Definitions of Terms Specific to This Standard:

3.1.1 *fire retardancy, n*—in paint, the ability of a paint to retard the spread of a flame over coated substrate usually at the sacrifice of the paint film.

4. Summary of Test Method

4.1 *Fire Retardancy*—Panels are conditioned before and

after coating with the material under test. They are subjected to a flame from a small amount of burning alcohol or other solvent, and the weight loss and char index are determined.

4.2 *Leaching*—Similarly prepared panels are immersed in water for a specified time and then subjected to the fire-retardancy test. The weight loss, char index, and difference in weight loss and char index between leached and unleached panels are determined.

5. Significance and Use

5.1 This test method determines the relative fire-retardant properties of coatings and the water leaching of the fire-retardant material from the applied coating. Leaching simulates the effect of high humidity, weathering, and washing on the fire retardancy of a coating, and is specified in various regulations and specifications for fire-retardant paints.

6. Apparatus

6.1 *Cabinet*³—A glass and metal box as shown in Fig. 1.

6.2 *Assembly*,³ consisting of supports for the test panels and solvent cup. The assembly is shown within the cabinet in Fig. 1.

6.3 *Cylindrical Cup*, to hold solvent, made of brass to the following dimensions:

Outside diameter, in. (mm)	3/4 (24)
Outside height, in. (mm)	1 1/4 (17)
Wall thickness, in. (mm)	1/32 (1)
Volume, mL	6.0
Operating capacity, mL	5.0

6.4 *Balance*, weighing to 0.1 g.

6.5 *Buret or Pipet*, calibrated in millilitres.

6.6 *Container or Water Bath*, 12.5 by 6.5 by 6.5 in. (320 by 165 by 165 mm), galvanized steel with cover to accommodate 15 panels, or other sizes to accommodate 5 to 10 panels.

6.7 *Oven*, capable of maintaining a temperature of $120 \pm 3^\circ\text{F}$ ($50 \pm 2^\circ\text{C}$).

6.8 *Constant Temperature and Humidity Cabinet or Room*, maintained at $50 \pm 5\%$ relative humidity and $73.5 \pm 3.5^\circ\text{F}$ ($23 \pm 2^\circ\text{C}$).

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D-1 on Paint and Related Coatings, Materials, and Applications and is the direct responsibility of Subcommittee D01.22 on Health and Safety.

Current edition approved Oct. 10, 1998. Published December 1998. Originally published as D 1360 – 55T. Last previous edition D 1360 – 90a(1995)¹.

² Available from Standardization Documents Order Desk, Bldg. 4 Section D, 700 Robbins Ave., Philadelphia, PA 19111-5094, ATTN: NPODS.

³ The sole source of supply of a suitable cabinet and assembly known to the committee at this time is Dek-ron Scientific, 244 East 3rd St., Plainfield, NJ 07064. If you are aware of alternative suppliers, please provide this information to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee,¹ which you may attend. Drawings of cabinet, assembly, etc., may be obtained from ASTM Headquarters. Order Adjunct ADJ1360.

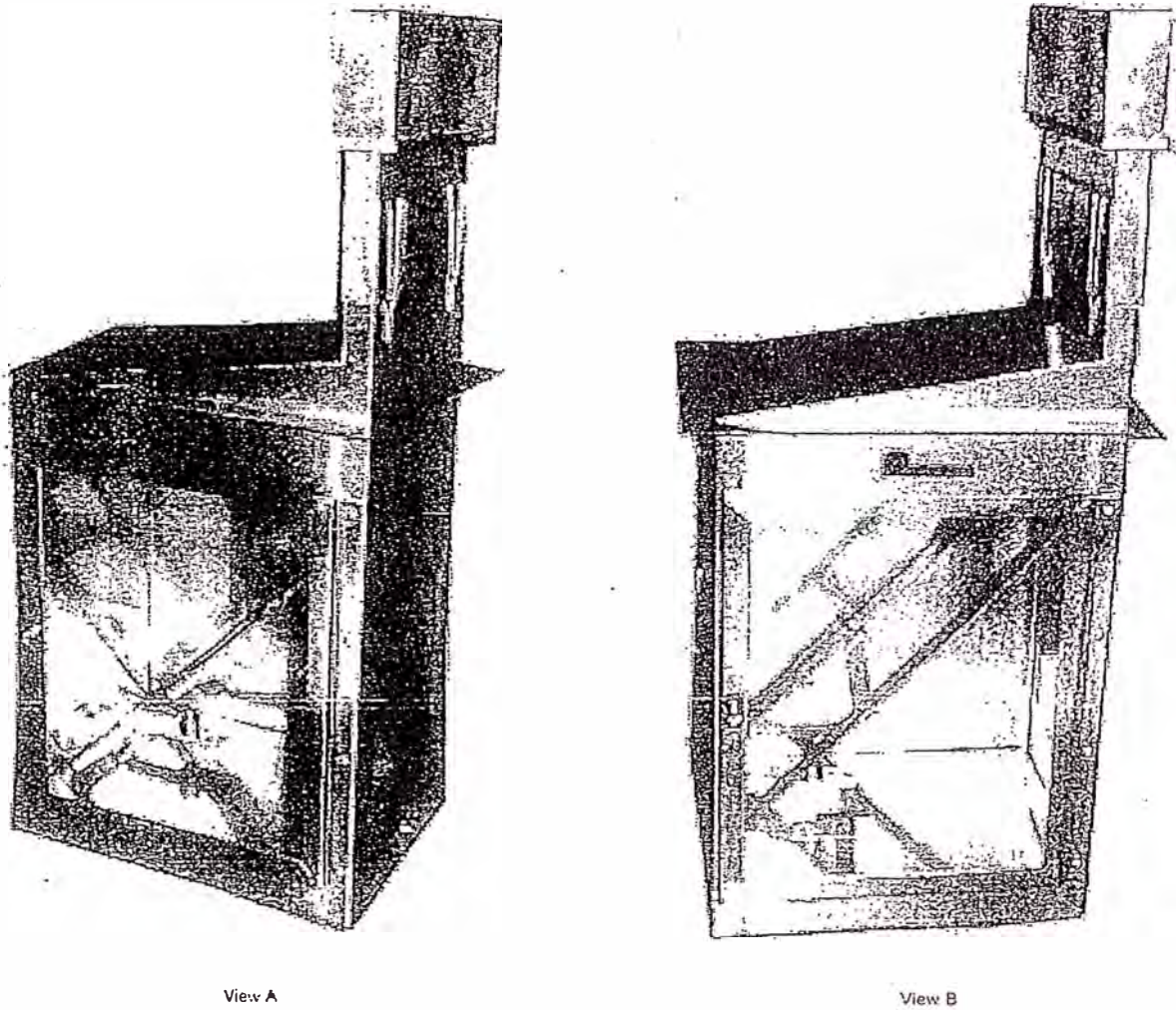


FIG. 1 Apparatus

7. Test Materials

7.1 *Ignition Fuel*, absolute ethyl alcohol (ethanol) or comparable solvent blend.

Note 1—A mixture of 71.4% reagent grade isopropanol and 28.6% reagent grade methanol having the same heat of combustion as pure absolute ethanol may be used as the source of ignition.

7.2 *Test Panels*:

7.2.1 Unless otherwise specified or agreed, yellow poplar heartwood panels 1/4 by 6 by 12 in. (6 by 150 by 305 mm), close-grain, and as nearly edge grain as possible, free from knots and other imperfections, with surfaces planed and sanded. Panels shall be of solid wood or edge glued sections to obtain the width, provided that no strip is less than 1 1/2 in. (38 mm) wide and that no more than two glue lines occur in any one panel. The adhesive used in gluing these panels shall conform to Mil. Spec. MIL-A-22397. Test panels shall be kiln dried so as to contain no more than 10.0 weight % moisture and after conditioning as specified in 8.1 shall weigh from 27 to 30 lb/ft² (125 to 140 g/panel).

7.2.2 Douglas fir or other woods shown in Table 1 may be used where required. Table 1 shows the densities and weight

TABLE 1 Densities and Panel Weights of Various Woods

Note 1—Conditioned at relative humidity 50 ± 5% and 73.5 ± 3.5°F (23 ± 2°C) for 14 days.

Type of Wood	Density (9 to 10 weight % Moisture), lb/ft ² (kg/m ²)	Weight of 6 by 12 by 1/4 in. (152 by 305 by 6 mm) Panel, g
Red cedar	21.4–22.4 (345–360)	101–106
Douglas fir	29–35 (465–560)	137–165
White pine—ponderosa pine	22.4–26.4 (360–420)	106–125
Southern yellow pine	31–37 (495–590)	147–175
Redwood	27.2–28.2 (435–450)	129–133

per panel for each wood after conditioning

Note 2—Asbestos board for inorganic reinforced cement board, steel, or concrete may be used upon agreement between the purchaser and the seller.

8. Preparation of Test Panels

8.1 Condition panels for 14 days in a controlled atmosphere of 50 ± 5% relative humidity and 73.5 ± 3.5°F (23 ± 2°C)

prior to coating. Seal the ends of the panels with two coats of varnish conforming to Fed. Spec. TT-V-149 after the conditioning. Allow each coat of varnish to air dry 18 to 24 h.

8.2 Brush apply the material under test in one coat at 250 ft²/gal (6 m²/L) (wet film thickness of 6.4 mils) or in two coats at 500 ft²/gal (12 m²/L) (3.2 mils per coat) to each face of each panel, obtaining as uniform coverage as possible. Application can be by other conventional means and in as many coats to obtain the necessary weight of coating or desired wet or dry film thickness. Also coat the edges and sides of the panels with the same material. When applied in more than one coat, dry 24 h between coats under standard conditions (see 6.8) and, after the final coat, dry 14 days under the controlled conditions. Prior to subjecting the specimens to the burning test, place them in the oven at 120 ± 3°F (50 ± 2°C) for a period of 40 h.

8.3 Calculate the weight of the coating to be applied using the following equation:

$$W = \frac{(6 \times 12)}{144S} D \times 454 \quad (1)$$

where:

W = weight of applied wet coating, g.

D = coating density, lb/gal, and

S = spreading rate in ft²/gal.

8.3.1 Use the following equation when metric units are employed:

$$W = (46.4D)S \quad (2)$$

where:

W = weight of applied wet coating, g.

D = coating density, g/mL, and

S = spreading rate, m²/L.

9. Procedure—Fire Retardancy

9.1 Assemble the apparatus as shown in Fig. 1, including the stack extension and downdraft hood, in an area where facilities are available for the removal or escape of combustion products (standard laboratory hood without forced ventilation). Weigh the panel to be tested to the nearest 0.1 g and record the weight. Center the panel, face down, on the angular supports with the lower edge 2 in. (50 mm) from the angle formed by the floor and the side wall of the cabinet. Place the fuel cup, at room temperature, on the pedestal so that the vertical distance from the cup lip nearest to the face of the specimen is exactly 1.0 in. (25 mm). Using a buret or pipet, add 5.0 mL of pure absolute ethanol or any mixture with the same heat of combustion (Note 1) to the cup and ignite without delay by means of a flame approximately ½ in. (13 mm) in length. Close the door and adjust the draft to assure complete burning of the alcohol. Allow the test to continue until all flames self-extinguish. Repeat this procedure with at least five replicate panels.

9.2 *Weight Loss*—Cool each panel to room temperature and weigh to the nearest 0.1 g. Determine the weight loss in grams of each of the five specimens by subtracting from its original weight (see 9.1). Calculate the mean and standard deviation for the weight loss. If the standard deviation of the five replicates

is greater than 10% of the mean, test five additional panels and calculate the mean weight loss of the ten panels.

9.3 *Char Index*—Cut the panels by means of a fine-toothed saw along the lines of maximum length and width of attack. Measure in centimeters the maximum width of charring of the wood panel below the paint film on the lateral cut. Likewise, measure the maximum length of charring found on the longitudinal cut. Measure the maximum depth to which charring has penetrated the wood as evidenced on the longitudinal or lateral cuts. Determine the char index by multiplying the maximum char length, width, and depth figures. Calculate the mean and standard deviation for the char index. If the standard deviation of the five replicates is greater than 10% of the mean, test five additional panels and calculate the mean char index on the basis of the ten panels.

10. Procedure—Leaching Test

10.1 Prepare, coat, and condition 15 panels of each material under test, as described in Section 8.

10.2 At the end of 14 days at 50% humidity and 73.5°F (23°C), immerse the 15 panels in 2250 ± 30 mL of water (150 mL/panel) (Note 3) for 40 h at 120 ± 3°F (50 ± 2°C).

Note 3—The water bath is made to contain 15 panels and 2250 mL of water to cover the specimens. If less than 15 coated panels are immersed, add blank panels to make up the 15. Place panels so that their faces do not touch. Cover the bath to prevent excessive evaporation.

10.3 Subject each of the 15 panels to the fire retardant test in accordance with 9.1 and calculate the differences in mean weight loss and mean char index between the leached and the unleached set of specimens as follows.

Δ wt. loss = mean wt. loss of leached specimens - mean wt. loss of unleached specimens.

Δ char index = mean char index of leached specimens - mean char index of unleached specimens.

11. Report

11.1 Report the following information:

11.1.1 The number of coats and the coverage in ft²/gal (m²/L) of the total numbers of coats for each set of each material under test.

11.1.2 The mean weight loss and the mean char index of the set exposed only to the fire retardancy test, the number of specimens used in calculating the means, and the final standard deviation, and

11.1.3 The difference in mean weight loss and mean char index between the sets of unleached and leached specimens as determined in 10.3.

12. Precision and Bias

12.1 The precision of this test is to be determined.

12.2 *Bias*—The bias of this test method cannot be determined as the value of fire retardancy can be defined only in terms of a test method.

13. Keywords

13.1 cabinet method; char index; fire retardancy; government specification; paint



MUNICIPALIDAD DE LIMA METROPOLITANA
SUBGERENCIA DE DEFENSA CIVIL

DECLARACION JURADA
Anexo de la solicitud (F2) - DOCUMENTACION DEL EXPEDIENTE

Declaro bajo juramento que adjunto todos los requeridos mencionados en el TUPA aprobado por la Defensoría Municipal, así como otros documentos referidos al tipo de local que construyo

- (1) Plano de detección de intrusión (si aplica de acuerdo al área ocupada)
- Área ocupada = área techada + área libre
- (2) Formulario de Solicitud de ITSC

CONTENIDO DEL EXPEDIENTE

Documentación de acuerdo a lo que existe en la local y alrededores por el profesional habilitado o por la entidad correspondiente:

- (20) Certificado de seguridad en defensa civil de la edificación que alberga el objeto de inspección si luce el caso
- (3) Copia del Plano de Ubicación en Escala 1:500 (incluye cuadro de áreas), indicando:
 - Área ocupada (Es la suma de las superficies techadas y sin techar de dominio propio, encontrada dentro de los límites de una poligonal medida hasta la cara exterior de los muros del perímetro o hasta el eje del paramento exterior en caso de colindancia con otro predio).
 - Posición del terreno respecto de las cotes adyacentes.
 - Dimensiones del terreno
 - Uso de los inmuebles colindantes
 - Cuadro de áreas (debe indicar área del terreno, área construida por piso y total área libre)
 - Esquema de localización con las vías y lugares importantes de la zona donde se ubica el terreno
 - (El Copia de Planos de Arquitectura debe estar en escala 1:50, 1:100 o 1:200, y concordantes con la realidad, que incluye:
 - Plano de plantas de distribución de todos los pisos, indicando
 - Composición de mobiliario, equipos existentes, escalera de escape y áreas de refugio horizontal según corresponda
 - Niveles de pisos terminados (NTP)
 - Dimensiones de los ambientes y de los componentes de evacuación (cotas)
 - Indicación de los instancias de escape
 - Nombres de los ambientes
 - Ubicación de los tableros eléctricos
 - Plano de Cortes por los elementos de circulación vertical
 - Niveles y cotas
- (7) Memoria descriptiva de arquitectura
 - Debe considerar los usos que alberga el Objeto de Inspección y su denominación, la misma que debe estar desarrollada a mano de tercerido nivel del local indicando las características y dimensiones de los sectores/áreas, (las escaleras), principales y secundarias dando mayor énfasis a las que forman parte de las rutas de evacuación en concordancia con los planos de señalización y rutas de evacuación. Para el caso donde las vías de evacuación sean más de una, en los planos de Rutas y Vías de Evacuación se debe asignar una nomenclatura con letras o números para cada una de ellas, de manera que se distingan con facilidad
 - Asimismo se debe indicar las áreas de los ambientes y el nivel de piso terminado (NPT) de cada nivel
 - Para los tipos de edificaciones que estén comprendidas en las categorías de Centro de Diversión, Sala de Espectáculos y Edificaciones para Espectáculos Quebrados se exigirá en las edificaciones nuevas con aprobación de proyectos constructivo de fecha posterior al 12 JUNIO según el RNE, que en la memoria descriptiva se detalle la correspondiente a los Estudios de Impacto Ambiental e Impacto Visual, respecto a este último estudio se debe indicar la facilidad de acceso y evacuación de las personas provenientes de sus circulaciones diferenciadas u espacios abiertos
 - Análisis de riesgos, firmado por un higienista y seguridad industrial o profesional con especialidad en protección contra incendios
 - Especificaciones técnicas de retardante de fuego
 - Especificaciones técnicas de los dispositivos y de las puertas anti-fuego. Números de serie de las puertas instaladas
 - Especificaciones del ascensor indicando si cuenta con microcomunicadores, llave manual de ingreso y dispositivo para llave de bomberos
 - Certificado de operatividad y mantenimiento del sistema de extracción mecánica
 - Certificado de operatividad sistema de administración de humos
 - Constancia de mantenimiento de juegos infantiles
- INSTALACIONES ELECTRICAS
 - (4) Copia de los Planos de Instalaciones Eléctricas vigente en escala 1:50 o 1:100, que incluya
 - Plano de distribución y tomacorrientes por niveles, ubicación de punto de tierra, con su respectiva leyenda y especificaciones técnicas
 - Cuadro de cargas
 - Detalle de punto de puesta a tierra
 - Plano de diagramas unifilares de tableros eléctricos
 - Plano de diagramas unifilares de subestaciones, cuadro de cargas y especificaciones técnicas
 - (7) Memoria descriptiva de Instalaciones eléctricas
 - Debe señalarse la ubicación, número y características de las bombetas, las automatizadores, subalimentadores, tableros sub-tableros, cuadros derivados, sistemas de protección y control, sistemas de medición y registro, sistemas de puesta a tierra y otros, así como, precisarse la fecha del tendido de la última instalación eléctrica (remediación total o nueva instalación), detalles de diseño, tipo de las instalaciones eléctricas (residencial, comercial, industrial, horematel y a prueba de explosiones o especial), la potencia instalada contratada y máxima demandada
 - En relación al equipamiento de seguridad debe indicarse información sobre el tipo y ubicación de señalización, sistemas de alarma o detectores, iluminación de emergencia y los sistemas de medición de carga sin estos los o móviles
 - (10) Copia del certificado de medición de resistencia de punto de tierra (no mayor de 5 ohms)
 - (11) Certificado de operatividad y mantenimiento de luces de emergencia (no mayor de 1 año)
 - Especificaciones técnicas de grupo electrogenos
 - Especificaciones técnicas de los generadores
 - (12) Constancia de operatividad y mantenimiento de ascensores, montacargas y escaleras mecánicas (a mano de 1 año) firmado por un electricista o Mecánico eléctrico.

- Especificaciones técnicas de motores eléctricos.
- SEGURIDAD
- (15) Certificado de operatividad del sistema de detección y alarma (incendios) (no mayor de 1 año)
- (16) Constancia de operatividad y mantenimiento de extintores (no mayor de 1 año), que indique fecha de fabricación, tipo, capacidad, rango, agente extintor y fecha de prueba hidrostática
- (17) Constancia de que los extintores tengan fecha de fabricación mayor a 5 años, Certificado de prueba hidrostática de extintores
- (18) Certificado de operatividad y mantenimiento de la red de riego contra incendios (no mayor de 1 año)
- (19) Memoria descriptiva del sistema de agua contra incendios firmado por ingeniero químico
- (20) Certificado de operatividad del sistema de rociadores automáticos (no mayor de 1 año)
- (21) Certificado de mantenimiento y operatividad del tanque de gas con capacidad mayor a 3.43m³ (116 gal) o balón de gas tipo 10 o 45; así como tanques de líquidos combustibles con capacidad mayor a 100 m³ (264 17 gal). Debe ser actualizado (no mayor de 1 año)
- (22) Certificado de la fecha de distribución de GLP (no mayor de 1 año)
- Cronograma de mantenimiento del sistema de evacuación de gases (campana y ductos) y última constancia de haber efectuado mantenimiento.
- (23) Constancia de mantenimiento de calderos vigente (no mayor de 1 año) firmado por Ing. Mecánico o Mecánico electricista y autorizaciones del Ministerio de Trabajo (MTE del Ecuador).
- (24) Certificado emitido a la instalación del equipo radiológico, autorización del IPSEI para uso de rayos X
- (25) ITF Informe técnico (hidráulico) de uso y funcionamiento emitido por OSINERGIA de tanques de GLP con capacidad superior a 0.45 m³ (115.83 gal)
- (26) ITF Informe técnico (variables de consumo) directo emitido por OSINERGIA de tanques de líquidos comburibles con capacidad superior a 1.00 m³ (264.17 gal)
- Constancia de operación y mantenimiento del concesionario o instalador de gas natural
- (27) Plan de seguridad o plan de contingencia aprobada y actualizada firmado y sellado por el gerente general o administrador y jefe de seguridad en la última hoja y visado por ambos, en todas las demás páginas.
- Con contenido
- Planos de Evacuación a escalas 1/75, 1/100, 1/200 ó 1/500 Firmados por Arquitecto colegiado y referendado por el gerente general o administrador y jefe de seguridad
- Planos de Señalización, a escalas 1/75, 1/100, 1/200 ó 1/500 Firmados por Arquitecto colegiado y referendado por el gerente general o administrador y jefe de seguridad
- Conformación de comité de emergencia y/o seguridad de defensa civil
- Conformación de brigadas (evacuación, primeros auxilios y contra incendios)
- Funciones y responsabilidades del comité de seguridad y brigadas
- Procedimiento para reporte inmediato de emergencia
- Procedimientos de evacuación
- Procedimiento para determinar la cantidad de personas evacuadas
- Constancia de capacitación de personal y brigadas en temas de seguridad
- Cronograma anual de actividades de capacitación (entrenamiento y simulacros) del personal y brigadas
- Directorio de personal y teléfonos de emergencia (bambales, hospitales, policía, etc)
- Procedimiento de abastecimiento, manipulación y hojas de seguridad de materiales y/o residuos peligrosos, indicando el volumen de almacenamiento o salida
- Cálculo de tiempo de evacuación
- Certificado de resistencia al fuego de las puertas y dispositivos contrafuegos
- Constancia de operatividad y mantenimiento de sistema presurizada (no mayor de 1 año)
- Sustento de las distancias de recorrido mayor a 60 m basado en requisitos adicionales definidos en la NFPA 101
- Para inspecciones, multidisciplinarias Copia del EIA (estudio de impacto ambiental), DAP (diagnostico ambiental preliminar) y/o PAMA (programa de adecuación y manejo ambiental) aprobados por el sector correspondiente
- ESTRUCTURAS**
- Carta de Seguridad de la estructura, firmado por Ing. Civil
 - integridad y estabilidad
 - sobrecargas
 - estado de acabados
 - vibraciones
- (28) Evaluación de sobrecarga sobre estructura donde esta instalada, firmado por Ing. Civil
- (29) Carta de Seguridad de la estructura, firmado por Ing. Civil
- (30) Constancia de mantenimiento de la estructura (señalado expresamente el período de guardia), otorgado por la empresa responsable de la instalación y/o mantenimiento, así como las especificaciones técnicas de los materiales y la evaluación del comportamiento ante fuerzas sísmicas y vientos, firmado por Ing. Civil
- Constancia de mantenimiento y seguridad de estructuras metálicas
- Certificado de líneas de seguridad en vidrios ubicados en rutas de evacuación
- Certificado de instalación de cristales templado en ventanas y mamparas
- (31) Carta de mantenimiento o seguridad del sistema de fachada flotante de techados expresamente el período de guardia)

Certificate of Analysis

1.01097.1000 Aluminium oxide 90 standardized for column chromatographic adsorption
analysis acc. to Brockmann

Batch TA2033497

	Spec. Values	Batch Values
pH-value (10 % suspension)	9.0 - 10.0	9.6
Substances extractable by water	≤ 0.5 %	0.1 %
Chloride (Cl)	≤ 0.1 %	≤ 0.1 %
Sulphate (SO ₄)	≤ 0.1 %	≤ 0.1 %
Speed of filtration	≥ 0.2 ml/min	≥ 0.2 ml/min
Activity	II - III	II - III
Particle size	70 % between 0.063 - 0.200 mm	70 % between 0.063 - 0.200 mm

Date of release (DD.MM.YYYY) 19.02.2016

Minimum shelf life (DD.MM.YYYY) 31.12.2025

Dr. Simon Förster

Responsible laboratory manager quality control

This document has been produced electronically and is valid without a signature.

Certificate of Analysis



1.07836.0100 Antimony(III) oxide for analysis EMSURE®
Batch K47781236

	Spec. Values		Batch Values	
Assay (bromometric)	≥ 99.0	%	99.5	%
Substances insoluble in hydrochloric acid	≤ 0.01	%	≤ 0.01	%
Substances soluble in water	≤ 0.05	%	≤ 0.05	%
Chloride (Cl)	≤ 0.05	%	≤ 0.05	%
Sulphate (SO ₄)	≤ 0.01	%	≤ 0.01	%
As (Arsenic)	≤ 0.03	%	0.03	%
Ca (Calcium)	≤ 0.002	%	≤ 0.002	%
Cu (Copper)	≤ 0.002	%	≤ 0.002	%
Fe (Iron)	≤ 0.003	%	≤ 0.003	%
K (Potassium)	≤ 0.002	%	≤ 0.002	%
Na (Sodium)	≤ 0.002	%	≤ 0.002	%
Pb (Lead)	≤ 0.025	%	0.018	%

Date of release (DD.MM.YYYY) 15.04.2016
Minimum shelf life (DD.MM.YYYY) 30.04.2021

Dr. Andreas Lang
Responsible laboratory manager quality control

This document has been produced electronically and is valid without a signature.



Lacas para Automóviles y Muebles, Matizados de Colores, Pinturas Acrílicas, Pinturas Marinas, Hornearias, Epóxicas, DD, Poliéster y Pintura de Alta Temperatura, RESINAS E INSUMOS
 Fibra de vidrio - resinas - Poliuretano A y B - Antiacidas Epoxica - Siliconas de Moldeo y Pigmentos
 Sopletes, Ropuestos y Servicio de mantenimiento. Artículos Eléctricos y Ferrería en General.

SU COLOR FERRETERÍA & PINTURAS S.A.C.

Av. Bauzate y Meza Nro. 841 (Antes Bolivar) Z.I. Zona Industrial - Lima - Lima - La Victoria
 Telfs.: (511) 423-6945 / Entel: 998238412 E-mail: Suclorsa@hotmail.com

R.U.C. 20100292361

FACTURA

0003- Nº 090232

Lima, 09 de Setiembre del 2017

Señor(es): CENTURION CORP SAC

R.U.C.: 20504791736

Dirección: C/ta. Jose Gougeon 40160 - Surco

Guía de Remisión Nº

CANTIDAD	DESCRIPCION	P.UNIT	TOTAL
01	lt. de resina hexacetato poliester		20.00
	lt. de poliuretano		3.00
Sum: Veintidos y 00/100 Soles.			

EDITORIAL ALTAGRAF S.A.
 R.U.C. 2039669821 Cel.: 9452-90181
 Serie 0003 del 90001 al 91000
 Act. Sunat: 13026643623 F.I.: 05-08-2017

CANCELADO
 Lima, 09 de Setiembre del 2017

SUBTOTAL	19.49
I.G.V. 18%	3.51
TOTAL SI.	23.00

ADQUIRENTE O USUARIO



Lacas para Automóviles y Muebles, Matizados
de Colores, Pinturas Acrílicas,
Pinturas Marlhas, Horneables, Epóxicas, DD,
Poliéster y Pintura de Alta Temperatura,
RESINAS E INSUMOS
Fibra de vidrio - resinas - Poliuretano A y B - Antiácidas
Epóxica - Siliconas de Moldeo y Pigmentos
Sopleles. Repuestos y Servicio de mantenimiento.
Artículos Eléctricos y Ferretería en General.

SU COLOR FERRETERÍA & PINTURAS S.A.C.

Av. Bauzate y Meza Nro. 841 (Antes Bolívar) Z.I. Zona Industrial - Lima - Lima - La Victoria
Telfs.: (511) 423-6945 / Entel: 998238412 E-mail: Sucolorsa@hotmail.com

R.U.C. 20100292361

FACTURA

0003- Nº 090530

Lima, 30 de 09 del 2011

Señor(es): CENTURION CORP S.A.C.

R.U.C.: 20507791736

Dirección: Calle Jose Gonzales # 160 Miraflores, Lima. Guía de Remisión Nº

CANTIDAD	DESCRIPCION	PR UNIT	TOTAL
01	Kilo Resma poliuretano	48	48.00
01	= Silicona p/ moldeo	60	60.00
02	Brochas 3/4	2	4.00
08	11 MAS 3/4 S/ 16.00		128.00
			<u>112.00</u>
Son: Ciento doce con 00/100 Soles			

EDITORIAL ALTAGRAF S.A.
R.U.C. 20349669021 Cel.: 9462-99191
Serie 0003 del 90001 al 91000
Aut. Sunat: 13025043023 F.I.: 05-06-2017

CANCELADO

Lima, 30 de 09 del 2011

SUBTOTAL	94.91
I.G.V. 18%	17.09
TOTAL S/.	112.00

ADQUIRENTE O USUARIO



MADERERA
PORRAS ELIRL

Gran Stock de Maderas
 Maderas de Pisos de Abeto, Pino, Cedro, Ene, Guayacan, Gualay, etc.
 Maderas de Terceros: Alamoses, Clavos, Corchales, etc.
 Maderas de Bases de Puercos, Cerrillos, etc.

Av. Naranjal Mz. C Lt. 20 - Zona Industrial - Alt. Km. 17 1/2 - Pan. Norte - Independencia - Lima - Lima
 Telfs.: 521-0514 Cbi.: 995418050 / 999634145 / #690363 / #700546 E-m: maderera@porras@gmail.com

R.U.C. 20330794519
FACTURA
 001- Nº 011492

Señor(es): **CENTURION CORP SAC**

DIA	MES	AÑO
20	07	2017

R.U.C.: **20507791736** Orden de Pedido:

Dirección: **CU Jose Gonzalez 160 - Miraflores - Lima**

Nº de Guía:

CANT.	DESCRIPCION	P. UNIT.	IMPORTE
2	Tubos 6 x 15 cm x 3 uits Tornillo	35.00	70.00
2	Tubos 6 x 15 cm x 2 uits Capirona	26.00	52.00

son: **Ciento Cuarenta y seis y 96/100 S/6**

GRÁFICA SAN FRANCISCO
 De: R. Gustavo Segura Nuñez
 R.U.C.: 10092402814
 N°: 1038643023
 711/2015
 1001 al 12000

Lima **20** de **07** del 20**17**

CANCELADO

EFFECTIVO CHEQUE BANCO

SUB-TOTAL	122.00
%IGV 18%	21.96
TOTAL	143.96

LA MERCADERIA NO HA Y CUBRA A RECLAMO NI DEVOLUCION

COPIA

ADQUIRENTE O USUARIO

