

11
2ej



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN**

**" ESTUDIO DEL ACETATO DE COBRE COMO
POSIBLE REFORZADOR DE LA LUZ AZUL
PIROTECNICA ARTESANAL "**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO QUIMICO

P R E S E N T A :

FRANCISCO JAVIER JIMENEZ ALVAREZ

ASESOR:

M.C. RICARDO P. HERNANDEZ GARCIA

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEXICO

1998

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

11
22



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN**

**" ESTUDIO DEL ACETATO DE COBRE COMO
POSIBLE REFORZADOR DE LA LUZ AZUL
PIROTECNICA ARTESANAL "**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO QUIMICO

P R E S E N T A :

FRANCISCO JAVIER JIMENEZ ALVAREZ

ASESOR:

M.C. RICARDO P. HERNANDEZ GARCIA

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEXICO

1998

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

DR. JAIME KELLER TORRES
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLAN
P R E S E N T E .

AT'N: Ing. Rafael Rodríguez Ceballos
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la F.E.S. - C.

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS TITULADA:

Estudio del Acetato de Cobre como Posible Reforzador
de la Luz Azul Pirotécnica Artesanal.

que presenta el pasante: Francisco Javier Jiménez Álvarez.
con número de cuenta: 9056906-1 para obtener el TITULO de:
Ingeniero Químico.

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E .
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cuautitlan Izcalli, Edo. de Méx., a 19 de enero de 1996

PRESIDENTE	<u>M. en C. René Miranda Suvalcaba</u>
VOCAL	<u>O. Juan José Lara Padilla</u>
SECRETARIO	<u>M. en C. Ricardo P. Hernández García</u>
PRIMER SUPLENTE	<u>O. Ofelia Vega Vázquez</u>
SEGUNDO SUPLENTE	<u>I.O. Gilberto A. Amaya Ventura</u>

Agradecimientos:

A mis padres: Roberto y Margarita.
A mis hermanos: Elia Margarita y Roberto.

Por el apoyo moral y económico a lo largo de mi formación profesional.

Gracias.

Reconocimientos:

Agradezco de todo corazón a las siguientes personas:

Felipe Contreras Aguilar.
Apolonio Contreras Conde.
Geronimo Cortes Conde.
Gabino Contreras Aguilar.
Urbano Cortes Urbán.
Remedios Cortes Vasquez.

Por permitir utilizar de sus talleres pirotécnicos y facilitar material para la realización de los experimentos de la luz azul artesanal además de su orientación acertada.

A mi asesor, por apoyarme para la realización de esta investigación.
Y a todas las personas que colaboraron en esta tesis.

Dedicatoria:

Esta investigación la dedico para cada uno de los artesanos pirotécnicos que día con día dan su vida al maravilloso arte pirotécnico. Esperando que les sea de mucha ayuda.

ÍNDICE.

	PAGINA.
I.-INTRODUCCIÓN.	1
1.1 DEFINICIÓN DE PIROTECNIA.	
1.2 ASPECTO HISTÓRICO SOBRE EL ORIGEN DE LA PIROTECNIA.	
1.3 CLASIFICACIÓN DE LA PIROTECNIA.	
1.4 FABRICACIÓN DE FUEGOS ARTIFICIALES.	
1.4.1 FABRICACIÓN DE LAS MEZCLAS.	
1.4.2 FABRICACIÓN DE CASTILLOS.	
1.5 LA UTILIZACIÓN DE LA LUZ AZUL DENTRO DE LOS JUEGOS ARTIFICIALES.	
1.6 UTILIZACIÓN DE UNA FÓRMULA ARTESANAL DE LA LUZ AZUL PIROTÉCNICA CON BAJO CONTENIDO DE AZUFRE.	
II.-BASES FÍSICOQUÍMICAS DE UNA LUZ AZUL PIROTÉCNICA ARTESANAL.	16
2.1 INTRODUCCIÓN.	
2.2 CONFIGURACIÓN ELECTRÓNICA DEL COBRE.	

2.3 COLOR DE LOS IONES.

2.4 REACCIONES QUÍMICAS.

III.-COMPOSICIÓN ARTESANAL PIROTÉCNICA DEL COLOR AZUL. 23

3.1 CLASIFICACIÓN GENERAL DE LA COMPOSICIÓN PIROTÉCNICA DEL COLOR AZUL ARTESANAL.

3.2 FORMULACIONES COMERCIALES PIROTÉCNICAS DEL COLOR AZUL.

3.3 FORMULA ARTESANAL DE LA LUZ AZUL SIN AZUFRE PURO COMO INGREDIENTE.

IV.-CARACTERÍSTICAS DE LA COMPOSICIÓN PIROTÉCNICA DE LA LUZ AZUL ARTESANAL. 31

4.1 GENERALIDADES.

4.2 INTENSIDAD LUMINOSA.

4.3 VELOCIDAD DE COMBUSTIÓN.

4.4 ÍNDICE DE COLOR.

4.5 TONO DE COLOR.

4.6 EFICIENCIA DE LA REACCIÓN.

4.7 TEMPERATURA DE IGNICIÓN.

4.8 ESTABILIDAD.

**V.-FACTORES QUE AFECTAN LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS
COMPOSICIONES PIROTÉCNICAS DE LA LUZ AZUL ARTESANAL. 42**

- 5.1 INTRODUCCIÓN.
- 5.2 LA GRANULACIÓN DE LOS INGREDIENTES.
- 5.3 ÁREA DE SUPERFICIE ARDIENTE.
- 5.4 PUREZA DE LOS INGREDIENTES.
- 5.5 TIPO DE CAJA DE BUJÍA.
- 5.6 PRESIÓN DE CARGA.
- 5.7 HUMEDAD.
- 5.8 GRADO DE ENCERRAMIENTO DURANTE LA COMBUSTIÓN.

**VI.-ESTUDIO DEL ACETATO CÚPRICO COMO REFORZADOR DE LA LUZ
AZUL ARTESANAL PIROTÉCNICA. 53**

- 6.0 INTRODUCCIÓN.
- 6.1 FACTORES QUE SE MANTUVIERON CONSTANTES EN LAS COMPOSICIONES
PIROTÉCNICAS ARTESANALES.
 - 6.1.1 GRANULACIÓN DE LOS INGREDIENTES.
 - 6.1.2 PRESIÓN DE CARGA.
 - 6.1.3 ÁREA DE SUPERFICIE ARDIENTE.
 - 6.1.4 PUREZA DE LOS INGREDIENTES.
 - 6.1.5 TIPO DE CAJA DE BUJÍA.
 - 6.1.6 HUMEDAD.

6.1.7 GRADO DE ENCERRAMIENTO DURANTE LA COMBUSTIÓN.

6.2 ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS COMPOSICIONES AZULES PIROTÉCNICAS ARTESANALES INCORPORANDO ACETATO CÚPRICO EN SU FORMULACIÓN.

6.2.1 OBJETIVO DEL EXPERIMENTO.

6.2.2 INTRODUCCIÓN.

6.2.3 MATERIAL UTILIZADO.

6.2.4 FACTORES QUE SE MANTUVIERON CONSTANTES.

6.2.5 PROCEDIMIENTO.

6.2.6 RESULTADOS.

6.2.7 ANÁLISIS DE RESULTADOS.

6.2.8 CONCLUSIONES.

6.3 ESTUDIO DE LA VARIACIÓN DE PRESIÓN DE CARGA.

6.3.1 OBJETIVO DEL EXPERIMENTO.

6.3.2 INTRODUCCIÓN.

6.3.3 MATERIAL UTILIZADO.

6.3.4 FACTORES QUE SE MANTUVIERON CONSTANTES.

6.3.5 PROCEDIMIENTO.

6.3.6 RESULTADOS.

6.3.7 ANÁLISIS DE RESULTADOS.

6.3.8 CONCLUSIONES.

6.4 ESTUDIO DE LA VARIACIÓN DE GRANULACIÓN SOBRE LA MEZCLA PARA LA LUZ AZUL PIROTÉCNICA ARTESANAL.

6.4.1 OBJETIVO DEL EXPERIMENTO.

6.4.2 INTRODUCCIÓN.

6.4.3 MATERIAL UTILIZADO.

6.4.4 FACTORES QUE SE MANTUVIERON CONSTANTES.

6.4.5 PROCEDIMIENTO.

6.4.6 RESULTADOS.

6.4.7 ANÁLISIS DE RESULTADOS.

6.4.8 CONCLUSIONES.

**6.5 ESTUDIO DEL TONO DE COLOR DE LA LUZ AZUL ARTESANAL PIROTÉCNICA
CON Y SIN ACETATO CÚPRICO.**

6.5.1 OBJETIVO DEL EXPERIMENTO.

6.5.2 INTRODUCCIÓN.

6.5.3 MATERIAL UTILIZADO.

6.5.4 FACTORES QUE SE MANTUVIERON CONSTANTES.

6.5.5 PROCEDIMIENTO.

6.5.6 RESULTADOS.

6.5.7 ANÁLISIS DE RESULTADOS.

6.5.8 CONCLUSIONES.

6.6 CONCLUSIÓN GLOBAL.

VII.- APÉNDICES

101

**7.1. ESTUDIO DEL COSTO PARA LA APLICACIÓN DEL ACETATO CÚPRICO PARA
LA LUZ AZUL PIROTÉCNICA ARTESANAL.**

7.2 FACTORES DE SEGURIDAD Y SU REGLAMENTACIÓN.

**7.3 DISEÑO DE EQUIPOS UTILIZADOS EN LA CUANTIFICACIÓN DE LA LUZ
AZUL ARTESANAL PIROTÉCNICA.**

7.3.1 DISEÑO DEL ILUMINÓMETRO.

7.3.2 DISEÑO DEL CARGADOR A PRESIÓN DE LA BUJÍA DE PAPEL.

7.3.3 ESPECIFICACIONES DE LOS REGISTRADORES DE MILIVOLTIOS.

7.3.4 ESPECIFICACIONES DE LAS MALLAS MANEJADAS.

7.4 CÁLCULOS RELACIONADOS A LAS CARACTERÍSTICAS DE LA COMPOSICIÓN PIROTÉCNICA DE LA LUZ AZUL ARTESANAL.

7.4.1 CÁLCULO DE LA CORRECCIÓN DE LAS FOTOCELDAS.

7.4.2 CÁLCULO DE LA CURVA DE LA CONVERSIÓN DE VOLTAJE A LUMINOSIDAD.

7.4.3 MEMORIA DE CÁLCULO PARA LAS CARACTERÍSTICAS DE LA LUZ ARTESANAL PIROTÉCNICA.

7.5 CÁLCULO SOBRE LOS FACTORES QUE AFECTAN A LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS COMPOSICIONES PIROTÉCNICAS DE LA LUZ AZUL ARTESANAL.

7.5.1 CÁLCULO DE LA ÁREA DE SUPERFICIE ARDIENTE.

7.5.2 ESPECIFICACIONES SOBRE LA PUREZA DE LOS INGREDIENTES.

VIII.- BIBLIOGRAFÍA.

157

OBJETIVOS GENERALES.

A) Cuantificar las características principales (tono de color, índice de color, intensidad luminosa, eficiencia de la combustión, velocidad de reacción) del comportamiento de la luz azul pirotécnica artesanal al agregar acetato cúprico, con la finalidad de mejorar la luz azul, además variando las condiciones de presión de cargado y tamaño de partícula.

B) Conservar latente una tradición cultural, utilizando una formulación de la luz azul pirotécnica artesanal sin contenido de azufre puro.

RESUMEN GENERAL.

El presente trabajo representa un esfuerzo por cuantificar la luz azul que se utiliza en la pirotecnia artesanal en México. Los primeros 5 capítulos están enfocados en introducir sobre el arte pirotécnico, las bases fisicoquímicas, las principales características y factores que influyen sobre la combustión de una mezcla azul sin contenido de azufre puro.

En el capítulo 6 trata de estudiar al acetato cúprico, es propiamente la finalidad de esta tesis, el experimentar sobre el comportamiento de las siguientes características:

Índice de color.

Tono de color.

Intensidad luminosa.

Velocidad de combustión.

Eficiencia de la reacción.

Y variando el tamaño de partícula y presión de cargado.

Se obtienen los siguientes resultados:

Existe incremento en la intensidad luminosa total. Mejora el tono de color. A presiones bajas y número de mallado que oscilen entre 40 y 80 mallados se mejora la luz azul. Resulta baja el costo al adicionar acetato cúprico a la mezcla pirotécnica.

I.- INTRODUCCIÓN.

1.1 DEFINICIÓN DE PIROTECNIA.

Etimológicamente el nombre de Pirotecnia viene del griego PIROS que significa fuego y TECHNÉ que significa arte, dando consigo en forma conjunta al siguiente significado: El arte del fuego.

Recurriendo al diccionario de la lengua española se obtiene la siguiente definición:

El arte de preparar explosivos y fuegos artificiales.

Desde el punto de vista estético la pirotecnia es considerada como una de las *bellas y exquisitas aplicaciones de fuego⁽¹⁾*, considerado un arte efímero debido a que la exposición del fuego artificial es de unos cuantos minutos. La pirotecnia es considerada un legado cultural; considerado una de las expresiones de cultura popular, que se puede apreciar en alguna *celebración pública, cívica o religiosa; festejos populares casi siempre, en la que no haya cohetes y fuegos artificiales como parte ineludible del festejo y como acto final con el que sobreviene la apoteosis⁽²⁾*. Al experimentar de cerca el arte de los fuegos artificiales además de apreciar su brillantez y tonalidad de color es posible sentir la radiación calorífica de las reacciones ocurridas en cada una de las bujías que conforman un fuego artificial acompañadas del estruendo de las explosiones, que combinando dichas sensaciones de parte del pirotécnico resulta una experiencia inolvidable de parte del espectador al estar tan cerca del fuego envolvente controlado en forma magistral por el artesano pirotécnico.

Desde el punto de vista militar la pirotecnia ocupa un lugar muy importante en estrategias militares en la guerra moderna utilizando la pirotecnia para

iluminar objetivos, señales, fotografías aéreas y para determinar el alcance y dirección del fuego. La pirotecnia artesanal es el arte de preparar explosivos y fuegos artificiales con la finalidad de manifestar algún festejo popular o cívico. El estudio de la presente tesis va enfocado al mejoramiento de la luz azul pirotécnica a nivel artesanal.

1.2 ASPECTO HISTÓRICO SOBRE EL ORIGEN DE LA PIROTECNIA.

El hombre desde la prehistoria a querido dominar el fuego para luego manifestarlo en actos rituales y diversiones siendo por lo tanto una práctica muy antigua.

Los grecorromanos aluden al fuego griego utilizado en festividades. La pirotecnia se divide en dos grandes ramas para su aplicación; en la milicia y en manifestaciones civiles populares. En el Oriente se utilizó la pirotecnia para fines de festividad y en Europa para fines militares.

La pirotecnia como arte es aplicado desde hace mucho tiempo en China y en la India. Se sabe con certeza de festividades desde el siglo XVI en Europa donde existían dos tendencias; la de los países anglosajones utilizada para celebraciones civiles para luego comercializarlo. La otra tendencia es la de países mediterráneos utilizada para las festividades religiosas. En el siglo XVIII la pirotecnia fue utilizada para representar batallas de grandes conmemoraciones de victorias y festejos culturales de Europa. Una festividad famosa fue la boda de Napoleón con María Luisa; las Fiestas del Emperador donde la pirotecnia del siglo XIX francesa se había desarrollado enormemente gracias al impulso de la ciencia química;

Chertier la aplicó e hizo escuela con sus inmejorables pirotécnicos, como la generación de los Brock.

En España: La pirotecnia hispana goza de prestigio debido a sus artificios pirotécnicos de calidad que utiliza a la pirotecnia de tiempos de Alonso X de Castilla con fines militares, algunos comentan que fueron los moros los que la introdujeron a la Península donde hicieron renacer los fuegos artificiales en todas las fiestas, y que en las crónicas de los reyes de Aragón y condes de Barcelona se leen frecuentemente descripciones, y además que los aragoneses y catalanes la llevaron a Italia. Siendo Carlos I el que dictaminara la regulación de la pirotecnia como un arte. En este siglo afirma George Foster la quema de los fuegos artificios es una práctica como otras actividades seculares que forma parte de las fiestas religiosas. La pirotecnia española a ganado tres veces en la competencia celebrada en Cannes, Francia.

Nueva España: La pirotecnia pasó a la Nueva España desde su madre patria pero se ignora el tiempo en que llegó. En 1535 existían festividades sin comentar nada sobre cohetes o fuegos artificiales.

En el siglo XVI parece carente de fuegos artificiales. En el siglo XVII ya se tiene como una práctica desarrollada en fiestas muy seriamente organizadas. Se recuerda en forma escrita el cinco de febrero de 1629 la beatificación de San Felipe de Jesús hecha dos años antes siendo *García Cubas* quien proporciona la información, sus fuentes fueron el *Acta de Cabildo* y un grabado del siglo XVIII que produce la procesión e incluye un castillo colocado en plaza, en frente de la desembocadura de la calle de Plateros, de varios cuerpos y con muchas ruedas. El evento con una pirotecnia tan formalizada indica una práctica no tan reciente⁽¹⁾. En

ese momento de la historia la pirotecnia queda escrita en la Nueva España mediante los diarios del siglo XVII y gacetas del siglo XVIII. Por lo que se sabe que hubo cohetes y fuegos artificiales en todo tipo de celebraciones, como en beatificaciones, canonizaciones, fiestas patronales, elecciones de obispos, bodas, bautismos de príncipes, quemando los castillos en las principales ciudades de provincia. Prendieron fuegos artificiales en las ceremonias de apertura del Real Estudio Botánico de la ciudad de México el seis de mayo de 1788.

En 1718 hubo reglamentaciones aprobadas por el virrey Marqués de Valero y confirmadas por Real Cédula en mayo de 1724, ordenando que *los coheteros tengan sus tiendas en los arrabales⁽¹⁾*, para evitar accidentes.

En el siglo XVIII se ordenaron impuestos a la pólvora, salitre y azufre, afectando a los coheteros.

En el siglo XVIII el arte pirotécnico se difundió a los ámbitos rurales e indígenas del país.

En el siglo XIX a pesar de los conflictos internos y externos, el pueblo seguía quemando cohetes y castillos.

En el siglo XX y con los hechos políticos de 1910 y sus fiestas de centenario se recuerdan imágenes de Hidalgo y Morelos del 16 de septiembre en el zócalo.

Después de la revolución se continuó la tradición de las fiestas cívicas con el misma alegría y entusiasmo. Hoy continúa la tradición en el 16 de septiembre.

Los indígenas de Chamula festejan carnavales quemando bombas de gran estruendo, fabricadas por los propios chamulas.

En la actualidad pueblos como Taxco Guerrero y Tultepec México siguen conservando en forma importante la pirotecnia nacional, siendo este último pueblo

donde hay una fiesta especial de coheteros, que son los fabricantes de pirotecnia. Los coheteros de Tultepec trabajan en talleres domésticos pero en los últimos años se han descentralizado los talleres hacia las orillas del pueblo siempre regulado por la Defensa Nacional.

De lo anterior se afirma que la pirotecnia a lo largo de la historia ha sido casi siempre el gran complemento en conmemoraciones, festejos, seculares, internacionales, nacionales, regionales y lugareños.

Por tanto, la pirotecnia en la actualidad es parte viva de la cultura popular mexicana.

1.3 CLASIFICACIÓN DE LA PIROTECNIA.

La clasificación global de acuerdo a los productos pirotécnicos se divide en dos grandes bloques:

A) Productos pirotécnicos militares.

B) Productos pirotécnicos artesanales.

A) Productos pirotécnicos militares.- Se dividen en los siguientes grupos:

1) Luces iluminares.

2) Señales.

3) Municiones de luz relámpago.

4) Otros artículos pirotécnicos.

1) Luces iluminares.- Son proyectiles de iluminación, luces de aeropuertos, luces de trampa, luces de tierra, luces de paracaídas, luces de conocimiento y aterrizaje y luces para blancos a remolque.

2) Señales.- Son luces para comunicación:

- Entre tropas de tierra.**
- Entre tropas terrestres y aeroplanos, o viceversa.**
- Entre aviones en el aire.**
- Entre barcos y aeroplanos, o viceversa.**
- Para pedir auxilio y salvación.**

3) Municiones de luz relámpago.- Bombas y cartuchos de luz relámpago que se utilizan para fotografías aéreas de noche a mucha y poca altura. Con altura mínima de 600 metros corresponde una intensidad luminosa de 50 000 000 bujías y un tiempo de reacción de 0.04 segundos. A una altura máxima hay una intensidad luminosa de 800 000 000 bujías y tiempo de 0.04 segundos.

4) Balas trazadoras.- Tanto en la artillería como las armas portátiles utilizan municiones con objeto de determinar el alcance y dirección del fuego. La composición trazadora va atrás de la bala mediante una cavidad, el encendido se lleva a una presión de 100-1000 Kg/cm², el tiempo varía entre 3-20 segundos, según la distancia a destinar.

5) Otros artículos pirotécnicos.- se pueden mencionar los principales:

- Torpedos y espoletas de ferrocarril.
- Señales de deriva.
- Las bombas para identificación de blancos.
- Artificios para relámpago y sonido.
- Municiones simuladas.
- Balizamientos.
- Cargas de localización.
- Mezclas incendiarias.
- Humos.

B) Productos pirotécnicos comerciales.

Los productos pirotécnicos comerciales se clasifican en cuatro grupos:

- 1) De sonido.
- 2) De color.
- 3) Mecánicos.
- 4) De combinación.

1) De sonido.- Consiste como su nombre lo indica en producir solo sonido, el cual es debido principalmente a que los gases producidos por la combustión que se encuentran atrapados dentro del producto encuentran solo un pequeño orificio por donde escapan, dando como resultado la emisión sonora.

2) De color.- Son los productos que emiten luz propia de diferentes colores (amarillo, azul, rojo, verde, blanca).

3) Mecánicos.- Conformados por estructuras de madera o carrizo que al colocarse los productos (propulsores) en el lugar adecuado producen movimientos casi siempre en forma circular.

4) De combinación.- En un producto pirotécnico comercial pueden estar presentes al mismo lapso de tiempo el sonido y el color, o pueden estar combinadas los tres grupos anteriores.

A continuación se reporta una tabla donde destacan de acuerdo al manejo, los principales productos pirotécnicos comerciales.

Tabla 1. Fuegos artificiales sólo quemados por los mismos pirotécnicos.

ARTICULO	GRUPO
Bombas de araña Bombas de luz de un tiempo Bombas de luz de 2 y 3 tiempos	Combinada (sonido y color)
Cascadas	Color
Castillos: Castillo de día Castillo de Noche	Combinada
Cohetones: Cohetón de luz simple Cohetón de luz con paracaídas Cohetón en abanico	Sonido y color
Judas y mojigangas	Mecánica y sonido

Piezas: Pieza de día con figuras en movimiento Pieza de noche con figuras en movimiento Pieza con 2 y 3 figuras cambiantes	Mecánica, sonido y color
<hr/>	<hr/>
Portadas	Color
<hr/>	<hr/>
Retratos	Color
<hr/>	<hr/>
Satélite	Color
<hr/>	<hr/>
Toritos	Combinada
<hr/>	<hr/>
Voladoras: Voladora chica Voladora grande Voladora de tiempos	Combinada

Tabla 2. Juguetería pirotécnica quemado por cualquier persona adulta.

ARTICULO	GRUPO
<hr/>	<hr/>
Detonantes: Buscapié Cañón Estallín Mediano Paloma -Paloma chica. -Paloma grande.	Sonido
Subidor Tres tiempos Silbato.	

Luces: Buscapié de luz Cometa Escupidor (6 y 8 tiros) Luz de bengala (varios tamaños) Subidor Torbellino	color
---	--------------

1.4 FABRICACIÓN DE FUEGOS ARTIFICIALES.

1.4.1 Fabricación de las mezclas.

Tomando como referencia a los pirotécnicos de Tultepec Edo. de México, se comentará en este apartado la forma en que a base de sus experiencias a través de los años y de la herencia directa de sus padres han encontrado las técnicas adecuadas a sus circunstancias para el control y manejo de mezclas explosivas.

Fabricación de pólvora negra:

Para preparar un kilogramo se requiere:

730 g de nitrato de potasio.

150 g de carbón.

120 g de azufre.

Primero se pulverizan cada uno de los reactivos mediante una serie de golpes con martillos (si es necesario) pero por lo regular el carbón ya es comprado en forma pulverizada y el azufre al igual que el nitrato de potasio, por lo regular no es necesario golpear con martillo para finalmente ser pasado por mallas de plástico o metálicas como por ejemplo una malla de bolsa de plástico utilizada para traer las compras. En segundo lugar se realiza la pesada de cada uno de los reactivos utilizando por lo común balanzas comerciales modestas o con balanzas de dos platos. En tercer lugar en un molino de bolas de plomo se reúne los ingredientes y se agregan 250 ml. de agua destilada hasta que quede en forma homogénea, resultando una pasta dura, se pulveriza manualmente y finalmente se cierne por mallado.

1.4.2 Fabricación de castillos.

Los pasos a señalar en la presente tesis sobre este apartado resumen de manera general y que varía mucho del punto de vista de cada pirotécnico, ya que la elaboración de los castillos es en realidad complicada y depende mucho de la creatividad del artesano para el diseño e innovación de su castillo.

Paso I.

Se determina en forma conjunta con el cliente el objetivo de la quema del castillo y se realiza un dibujo de las partes en que el cliente quiere la constitución del castillo.

Paso II.

El artesano pirotécnico en base a la dimensión del castillo realiza un presupuesto de la cantidad de material.Y preparación de cada formulación pirotécnica.

Paso III.

Se procede al cargado de cada caja de bujía y de propulsores para los efectos de movimientos mecánicos del castillo. Para finalmente acomodar cada caja de bujía de acuerdo a la figura preestablecida con el cliente en cada pieza del castillo.

Paso IV.

Se procede al tendido de toda la mecha negra para intercomunicar cada caja de bujía y propulsores.

Paso V.

Por último se realiza el armado del castillo mediante estructuras de madera.

1.5 LA UTILIZACIÓN DE LA LUZ AZUL DENTRO DE LOS FUEGOS ARTIFICIALES.

La luz azul comercial pirotécnica es utilizada en los fuegos artificiales, concretamente en los castillos y bombas luminosas donde es utilizada con menor frecuencia que los demás colores. Se enlista en orden descendente la utilización de las luces de los diferentes colores mas comunes:

1.-Luz blanca

2.-Luz Amarilla.

3.-Luz roja.

4.-Luz verde.

5.-Luz azul.

La luz azul pirotécnica comercial es poco utilizada por el artesano pirotécnico debido a que se tiene poca percepción de parte del espectador.

Dentro de un castillo se encuentran los diferentes colores ya mencionados, que dan forma a figuras o imágenes, por lo que la utilización de un color depende de la figura que se trate de expresar. Cuando se quema el castillo y se encuentra la luz azul adjunta a un color blanco, amarillo o verde el tratar de distinguir el azul resulta difícil, ya que las formulaciones de los demás colores utilizan como combustible al aluminio o magnesio que al quemarse desprenden una gran cantidad de energía radiante o intensidad luminosa que es mucho mayor que la intensidad luminosa emitida por la luz azul, dando consigo poca percepción del espectador.

El pirotécnico para solucionar este problema a tratado de igualar la intensidad luminosa de la luz azul con las demás intensidades luminosas de los otros colores sacrificando la saturación de color, es decir la cantidad de azul presente en la luz azul. De aquí se explica que el color azul comercial tenga poca utilización, ya que la saturación de color es muy baja.

De lo anterior surge la necesidad de mejorar esta luz pirotécnica comercial, mediante un compuesto que aumente la intensidad luminosa y al mismo tiempo mantenga o incremente la saturación de color azul. Un candidato para dar solución

a este problema es el acetato cúprico, ya que en principio el anión acetato es un combustible, es decir que se oxida en presencia de oxígeno, dando como resultado una magnífica combustión. El catión de cobre al calentarse se excita lo suficiente resultando la liberación de fotones en forma de luz azul. Un interesante compuesto que puede cubrir estas dos funciones tan importantes para la luz azul artesanal pirotécnica.

1.6 UTILIZACIÓN DE UNA FÓRMULA ARTESANAL DE LA LUZ AZUL PIROTÉCNICA CON BAJO CONTENIDO DE AZUFRE.

Pensando en las consecuencias que acarrea el emitir gases peligrosos a la atmósfera, sobre todo los óxidos de azufre que resulta de la combustión del azufre con el oxígeno, se toma en cuenta en este trabajo una vieja formulación olvidada por los artesanos pirotécnicos en la cual no se maneja azufre puro.

Así se evita el desagradable olor que en primera instancia molesta a los espectadores y que a largo plazo perjudica a la ecología; que claro está, no se compara con las emisiones contaminantes de las fábricas. Ya que un castillo se quema en forma muy aislada y una o dos veces por año en cada lugar, y que solo dura en quemarse unos cuantos minutos. Los ingredientes de la formulación de la luz azul sin azufre son los siguientes:

Clorato de potasio.

Goma laca.

Sulfato de cobre.

Carbón vegetal.

Y el acetato cúprico como candidato a reforzar el color de la luz azul pirotécnica artesanal.

II.-BASES FISICOQUÍMICAS DE UNA LUZ AZUL PIROTÉCNICA ARTESANAL.

2.1 INTRODUCCIÓN.

En la luz pirotécnica artesanal hay todo un conjunto de reacciones químicas, y la luz azul es el resultado de transiciones electrónicas en el átomo de cobre promovidas por la liberación de calor. Para verificar lo anterior es necesario adentrarse un poco en el desarrollo científico.

Mendeleev, en 1869, realizó la clasificación periódica de los elementos en base a sus propiedades químicas y físicas pero se desconocía la razón del orden periódico que encontró.

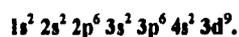
Después en la tercera década del siglo XX, la teoría cuántica pudo explicar el comportamiento de los elementos; por lo que la periodicidad se debe a la forma como se encuentran distribuidos los electrones de los átomos en sus niveles y subniveles energéticos.

En base a la teoría cuántica, la química basa la explicación de muchos fenómenos naturales en la estructura electrónica de los átomos.

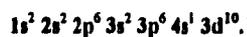
2.2 CONFIGURACIÓN ELECTRÓNICA DEL COBRE.

El cobre se localiza en los elementos metálicos de transición del periodo 4. La configuración electrónica es:

^{29}Cu :



Esta configuración está basada en una estricta adhesión al modelo teórico de esquemas orbitales. En realidad, las propiedades medidas experimentalmente para el cobre indican claramente que ocurre una variación del plan teórico. La configuración electrónica del Cu es más de acuerdo con la experiencia, de la siguiente forma:



Donde el orden de energía en los orbitales 4s, 4p y 3d es $4s < 3d < 4p$. Los electrones 3d tienen mayor energía que los electrones 4s, *¿ en dónde se están formando los elementos de transición, cómo es que tenemos ionizándose los electrones 4s en vez de los 3d al formarse los iones del metal de transición?*⁽²⁾.

La respuesta es complicada para la mecánica cuántica. Según afirman los científicos cuánticos: *La polémica sobre la reproducción teórica sobre las configuraciones básicas de los metales sigue en boga*⁽³⁾.

Hay mucha evidencia experimental para indicar en realidad, después de la formación, que el orden entre los orbitales 4s y 3d es $3d < 4s$.

Por lo tanto los electrones 4s tienen energías de ionización más bajas que los electrones 3d. Para los iones de metales de transición, la energía entre los niveles 3d y 4s es mucho menor que los 2p y 3s. Por lo que ocurre una absorción de energía radiante en la región visible del espectro electromagnético con los iones de los metales de transición.

Así, como con el sulfato cúprico y el acetato cúprico que se estudiaron en este trabajo, la excitación en el ion metálico Cu^{2+} es:

$\text{Cu}^{2+}(1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^9)$ que al calentarse resulta:

$\text{Cu}^{2+}(1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^9 4s^1)$.

Se logra por absorción de energía calorífica (promovida por la liberación de calor de la reacción química), cuya frecuencia corresponde a luz roja. Como el ion Cu^{2+} absorbe el componente rojo de la luz blanca, la luz transmitida por el ión aparece de color azul.

En la siguiente página se enlistan estados de oxidación y colores de los elementos de transición⁽²⁾ del periodo 4.

METAL	+2	+3	+4	+5	+6	+7
Sc		incoloro				
Ti	violeta	incoloro				
V	violeta	verde	azul	rojo		
Cr	azul	verde				amarillo
Mn	rosa	verde			púrpura	
Fe	verde-pálido					
Co	rosa	azul				
Ni	verde					
Cu	azul					
Zn	incoloro					

Tabla 3. Estados de oxidación y colores de los elementos de transición del periodo 4.

2.3 COLOR DE LOS IONES.

Las disoluciones de los iones de configuración de gas noble, o similar a esta ($s^2p^6d^{10}$), son incoloras, mientras que las disoluciones de los iones que tienen capas d y f incompletas suelen ser coloreadas. Los colores se deben a la interacción de la radiación electromagnética con los electrones presentes en los materiales. El fenómeno de color está relacionado con la absorción de determinadas longitudes de onda de la luz visible para excitar los electrones a niveles de energía mayor. El color que vemos en

la disolución es el complementario del absorbido en dicha transición, cuya energía está relacionada con la longitud de onda de la luz por la sencilla expresión $E = hc/\lambda$. Donde h es la constante de Planck (6.62×10^{-26} ergseg), c es la velocidad de la luz (3×10^{10} cm/seg.) y λ a la longitud de onda de la luz, en centímetros.

El ojo humano solamente responde a la luz en el estrecho margen de 4000 a 7000 Å, en los elementos de transición interna hay orbitales d y f vacíos de mayor energía que los niveles de estado fundamental, y es el salto de los electrones entre dichos niveles el que produce el espectro visible.

Las longitudes de onda aproximadas de los colores de la luz visible son:

COLOR	LONGITUD DE ONDA (nm)
Rojo	780-622
Naranja	622-597
Amarillo	597-577
Verde	577-492
Azul	492-455
Violeta	455-380

Tabla 4. Longitudes de onda del espectro visible.

Así, en la mezcla de composición pirotécnica debido a que se calienta los compuestos que contienen cobre, dicho átomo se calienta dando consigo la excitación de los electrones y a su regreso, emite luz visible de color azul.

2.4 REACCIONES QUÍMICAS.

La reacción química general que ocurre es del tipo óxido-reducción. Por lo tanto deben existir los siguientes reactivos:

1) Oxidante.

2) Reductor.

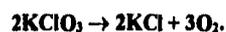
Para la composición de luz azul pirotécnica artesanal el oxidante es:

Clorato de potasio (oxidante fuerte).

Reductores: Carbón vegetal.

Goma laca.

El clorato de potasio cuando se calienta libera oxígeno:



Δ

El oxígeno liberado reacciona con el reductor formando óxidos. Así el carbón reacciona con el oxígeno formando óxidos de carbono. La reacción se lleva a cabo de forma violenta, siendo la velocidad de combustión alta, además liberando energía en forma de calor y energía luminosa, el calor liberado de la reacción se aprovecha para

que los compuestos que contienen al metal de cobre se quemán y emitan la luz azul. En este caso se utiliza como agente colorante al sulfato de cobre. El estudio de este trabajo está basado en el compuesto llamado acetato cúprico. Dicho compuesto es interesante ya que, el grupo acetato es un compuesto orgánico, ésto quiere decir que es fuente de carbonos, por lo que al calentarse se forman óxidos de carbono debido a la combustión con el oxígeno presente, liberando energía radiante, mientras que el cobre se oxida formando óxido de cobre al mismo tiempo que libera fotones de longitud de onda que corresponden a la luz azul del espectro visible. En una investigación previa a este trabajo se experimentó con cloruro de cobre II y cloruro de cobre I resultando un aumento en la saturación de color azul pero una sensible baja en la velocidad de combustión y como consecuencia en el tamaño de flama. Otra fuente muy rica de carbonos es la goma laca que es un compuesto orgánico producido por insectos. Esta compuesta en su mayor parte por cadenas de ésteres. La formulación de la luz azul artesanal utiliza como principal reductor a la goma laca rica en carbonos.

A los reductores se les conoce como combustibles como se mencionará en el próximo capítulo.

III.-COMPOSICIÓN ARTESANAL PIROTÉCNICA DEL COLOR AZUL.

3.1 CLASIFICACIÓN GENERAL DE LA COMPOSICIÓN PIROTÉCNICA DEL COLOR AZUL ARTESANAL.

Los ingredientes generalmente empleados en las composiciones pirotécnicas de la luz azul artesanal son de varias clases:

A) Oxidantes.

Los oxidantes son compuestos que liberan oxígeno a las temperaturas de sus reacciones.

Entre los oxidantes principales se encuentran los siguientes:

Clorato de potasio.

Nitrato de potasio.

Clorato de cobre.

Nitrato de cobre.

B) Combustibles.

Son los compuestos que sufren una reducción. Estas sustancias en estado de fina división se oxidan fácilmente con formación de los correspondientes óxidos y emisión de energía radiante. Entre ellos se encuentran los siguientes:

Azufre.

Goma laca.

C) Agentes de color.

Contribuyen a dar el color a la flama mediante la excitación de los electrones de átomos de cobre liberando un fotón cuando regresan de un nivel superior al nivel basal emitiendo la luz azul.

Mostrando los más usados por los artesanos pirotécnicos:

Oxalato de cobre.

Carbonato cobre.

Sulfato de cobre amoniacal.

Sulfuro de cobre.

Arseniato de cobre.

Oxido cúprico.

Cloruro mercurioso.

Cloruro diaminocuproso.

Cloruro de amonio.

Cloruro de cobre.

Los cloruros del agente colorante se volatilizan con más facilidad y dan colores más vívidos a temperaturas más bajas que los otros compuestos.

Cabe mencionar dentro de este apartado los agentes colorantes pueden ser usados bajo dos formas diferentes que son:

1) Bajo la forma de solución alcohólica.

2) En estado sólido.

1) Cuando se recurre a las soluciones alcohólicas de las sustancias destinadas a la producción de tal color, sólo es necesario disolver los compuestos indicados, sin necesidad de adicionarles otros.

2) En la preparación de una composición en estado sólido es necesario agregar el oxidante y el combustible para que por medio de la combustión queme al agente colorante liberando color. Siendo en estado sólido en que los artesanos pirotécnicos preparan sus composiciones.

D) Retardadores.

Tienen la finalidad de retardar la reacción entre el agente oxidante y el combustible a fin de obtener composiciones de combustión lenta.

Para la luz azul pirotécnica artesanal el azufre es un retardador.

E) Aglutinante.

Tiene la función de impedir su disgregación de la composición pirotécnica y obtener productos más uniformes. Sirven para que las partículas finamente divididas se adhieran entre sí cuando se comprimen en artículos pirotécnicos y así contribuyen a la obtención de la máxima densidad y eficiencia en la combustión.

Estas sustancias arden muy lentamente con los oxidantes mencionados y, por lo tanto, producen composiciones de combustión lenta. Los aglutinantes sirven también para desensibilizar las mezclas, pues sin ellos serían relativamente sensibles al choque y al rozamiento. Para la composición azul comercial se utiliza a la goma laca como aglutinante.

F) Permeabilizantes.

Reducen el contacto directo de la humedad con la composición para evitar oxidaciones prematuras.

La goma laca cumple con este fin.

Se observa que la goma laca cubre funciones simultáneas, ya que es un combustible, un aglutinante, y permeabilizante.

El azufre es un combustible pero al mismo tiempo es un retardador de la reacción.

3.2 FORMULACIONES ARTESANALES PIROTÉCNICAS DEL COLOR AZUL.

En este apartado se enlistan las fórmulas⁽⁹⁾ más comunes utilizadas a lo largo de la historia de la pirotecnia artesanal, donde algunas de estas formulaciones emiten una flama azul tendiente a verdosa. Dichas fórmulas son utilizadas a nivel mundial. La aplicación de éstas está sujeta al presupuesto y la facilidad de conseguirlas en el

mercado. Las fórmulas están expresadas en por ciento en peso, variando en función de las condiciones climáticas, la forma de mezclar, la granulación de los ingredientes, la presión de carga, grado de encerramiento durante la combustión, grado de pureza de cada reactivo, área de superficie ardiente, todos estos factores se explicarán en el capítulo siguiente.

Fórmula 1.

Clorato de potasio	74%
Sulfato de cobre	15%
Goma laca	9,8%
Carbón	1,2%

Tabla 5. Fórmula sin azufre puro.

Fórmula 2.

Clorato de potasio	40%
Sulfato de cobre	25%
Cloruro mercurioso	20%
Goma laca	15%

Tabla 6. Fórmula con cloruro mercurioso.

Fórmula 3.

Clorato de potasio	23%
Nitrato de potasio	27%
Azufre	15%
Sulfato de potasio	15%
Sulfato de cobre amonio	15%
Goma laca	5%

Tabla 7. Fórmula con sulfato de cobre amonio y azufre puro.

Fórmula 4.

Clorato de cobre	57%
Clorato de potasio	28.6%
Goma laca	14.4%

Tabla 8. Fórmula con clorato de cobre.

Fórmula 5.

Clorato de potasio	34.8%
Clorato de cobre	34.8%
Nitrato de cobre	17.4%
Clorato de bario	8.7%
Goma laca	4.3%

Tabla 9. Fórmula con clorato de bario y cobre.

Fórmula 6.

Clorato de potasio	39%
Nitrato de potasio	24,4%
Azufre	19,5%
Carbonato de cobre	14,6%
Goma laca	2,5%

Tabla 10. Fórmula con Azufre puro.

De las fórmulas anteriores se deduce la importancia vital de utilizar el clorato de potasio como un oxidante básico para que la reacción se efectúe, siendo uno de los únicos utilizado a nivel artesanal para producir la luz azul. Nótese que el nitrato y clorato de cobre son también oxidantes que actúan a su vez como agentes de color. El carbonato de cobre actúa como agente colorante al igual que el sulfato de cobre y cloruro mercurioso. La goma laca es utilizada en todas las fórmulas debido a que funge como combustible al igual que el carbón. El azufre también es utilizado en algunas fórmulas.

3.3 FORMULA ARTESANAL DE LA LUZ AZUL SIN AZUFRE PURO COMO INGREDIENTE.

Del punto anterior se utiliza la fórmula que no contiene azufre puro y utiliza sólo al clorato de potasio como oxidante:

Clorato de potasio al 74%.

Sulfato de cobre al 15%.

Goma laca al 9,8%.

Carbón al 1,2%.

Dicha fórmula se utilizará en esta investigación como la *mezcla base* para el experimento a realizar. Se utiliza esta fórmula para retornar a las fórmulas pirotécnicas con bajo contenido de azufre que puedan ser utilizadas por los artesanos pirotécnicos con el mismo colorido y presentación de su espectáculo. Así se evita el olor desagradable que desprenden y que causa molestia de parte de la mayoría de los espectadores, aclarando que depende además del factor climático, concretamente de la existencia de vientos que puedan arrastrar a los gases rápidamente.

IV.-CARACTERÍSTICAS DE LA COMPOSICIÓN PIROTÉCNICA DE LA LUZ AZUL ARTESANAL.

4.1 GENERALIDADES.

El propósito del presente trabajo es mejorar la luz azul pirotécnica. Para poder cuantificar en forma precisa el comportamiento de la luz azul a lo largo de la combustión. Las características de una luz azul comercial pirotécnica están basadas principalmente en la cuantificación de color.

El color de una luz está formado de tres aspectos importantes:

- a) La intensidad luminosa.
- b) La saturación de color.
- c) El tono de color.

Por lo que cada aspecto es interdependiente.

Las características⁽⁹⁾ más importantes y que se cuantifican en esta tesis son las siguientes:

- 1) Intensidad luminosa.
- 2) Velocidad de combustión.
- 3) Índice de color.
- 4) Tono de color.
- 5) Eficiencia de la reacción.
- 6) Temperatura de ignición.
- 7) Estabilidad.

A continuación se explicarán cada una de las características señaladas.

4.2 INTENSIDAD LUMINOSA.

Se define como la cantidad de luz que la mezcla pirotécnica emite al momento de llevarse a cabo la combustión. Para su medición se emplean las siguientes unidades:

a) 1 Violle.- Es la intensidad luminosa de 1 cm^2 a la temperatura de fusión del platino.

b) 1 bujía decimal.- Es de $1/20$ Violle, equivale aproximadamente a la intensidad luminosa de una parafina de 2 cm de diámetro y con una llama de 5 cm de altura.

c) 1 Watt es 1.1 bujía decimal.

d) Lumen.- Es el flujo luminoso durante un segundo por una superficie de 1 m^2 , limitada dentro de una esfera de 1 m de radio, en cuyo centro está la fuente luminosa de 1 bujía decimal de intensidad.

Iluminación.

La iluminación es la cantidad de luz que reciben las superficies de los cuerpos; para medirlas se usan las siguientes unidades:

1) 1 Lux es la iluminación que produce 1 bujía decimal sobre una superficie que se encuentra a un metro de distancia.

De la misma forma un Lux es la iluminación que tiene una superficie al recibir 1 lumen por cada metro cuadrado.

$$1 \text{ Lux} = 1 \text{ lumen} / \text{cm}^2.$$

2) 1 Fot.- Es la iluminación de una superficie cuando recibe 1 lumen por cada centímetro cuadrado.

$$1 \text{ fot} = 1 \text{ lumen} / \text{m}^2.$$

Variación de la iluminación.

Como se mencionó anteriormente la iluminación es la cantidad de luz que reciben las superficies de los cuerpos, donde la iluminación de la superficie de dicho cuerpo es directamente proporcional a la intensidad de la fuente luminosa, pero varía en forma inversa al cuadrado de la distancia. Se expresa de la siguiente forma:

$$A = IL / d^2$$

Donde:

A = Iluminación de la superficie.

IL = Intensidad de la fuente luminosa.

d = Distancia.

En pirotecnia la superficie de iluminación corresponde a cada espectador que observa el espectáculo, la intensidad de la fuente luminosa es cada bujía de papel dentro de un castillo que se encuentra en combustión, emitiendo luz, donde la

Iluminación varía de acuerdo a la distancia en que se localice el espectador con respecto al castillo.

4.3 VELOCIDAD DE COMBUSTIÓN.

La velocidad de combustión es el lapso de tiempo en que transcurre la reacción hasta que la bujía de papel es quemada debido a la combustión de la mezcla reaccionante que está dentro de dicha bujía.

Esta característica es importante para el artesano pirofónico debido a que todas las luces que van a representar una figura dentro de un castillo deben de encenderse en un tiempo exactamente igual y concluir de igual forma, por lo que la cantidad a reaccionar para cada bujía debe ser igual. La utilidad de conocer la velocidad de reacción radica en que se puede realizar una combinación de luces de diferentes colores para la representación de una figura donde no necesariamente la cantidad de mezcla a reaccionar para diferente luz sea la misma.

Las unidades son por lo general las siguientes:

cm/seg.

cm/min.

El área de combustión de la bujía de papel se quema junto con el mismo papel en forma perpendicular a lo largo de la bujía, esta longitud es la que se cuantifica por unidad de tiempo.

4.4 ÍNDICE DE COLOR.

Llamado también saturación de color, es la razón de la intensidad luminosa aparente a través de una mica de color a la intensidad luminosa total.

Para determinar el índice de color o viveza de color de la flama de una composición pirotécnica, se efectúan medidas simultáneas de intensidad luminosa mediante un iluminómetro provisto de dos celdas fotoeléctricas. A una celda se le coloca la mica azul (tiene la función de filtro) que es del color que se desea analizar, dando consigo que solamente transmita la longitud de onda que corresponde al color azul.

El índice de color viene expresado por el cociente de la intensidad luminosa medida a través del filtro coloreado y la intensidad luminosa total. se expresa así:

$$IL = \frac{\text{Intensidad luminosa aparente}}{\text{Intensidad luminosa total}} = \frac{ILA}{ILT}$$

Donde

IL = Índice de color.

4.5 TONO DE COLOR.

El tono es una de las características o aspectos del color de la luz azul pirotécnica que interesa a nivel estético para definir con cierta exactitud el matiz de un castillo. El tono es por lo tanto el nombre del color, el tono es cualitativo y es el aspecto más distintivo del color, porque éste no existiría sin aquél. Por lo tanto el tono de color parece ser una cualidad del material, que sólo existe como impresión sensorial del contemplador.

Colores elementales de Küppers.

La luz blanca está compuesta por diferentes longitudes de onda que se encuentran entre 400 nm a 700 nm que nuestra vista los percibe como colores.

La luz blanca es por lo tanto el resultado de una mezcla de colores primarios:

- 1.- Rojo.
- 2.- Azul.
- 3.- Verde.

Que al combinarlos producen mezclas más claras, a esto se le conoce como *Síntesis aditiva*⁽⁶⁾, de la mezcla de los colores primarios surgen los colores elementales de Küppers:

Elementales cromáticos: amarillo, magenta, cyan, azul-violeta, verde, rojo-violeta. Elementales acromáticos: blanco, negro.

Se resumen los resultados de mezclas de colores primarios y los colores elementales que resultan:

COLORES PRIMARIOS	COLORES ELEMENTALES
Az + V + R	B
V + R	A
Az + R	M
Az + V	C
Az	Az
V	V
R	R
NINGÚN COLOR	N

Tabla 11. Resultados de mezclas de colores primarios y los colores elementales que resultan.

Donde: Az = azul-violeta.

V = verde.

R = rojo.

M = magenta.

C = cyan.

N = negro.

A = amarillo.

B = blanco.

Se aplican en reflectores de luz y televisores en color.

Existe un sistema de códigos de colores primarios. Dicho sistema designa el volumen de cada uno de los colores primarios de 0% a 99% que significa la sensación máxima.

Con éste sistema de designar los colores primarios se designan con toda exactitud un millón de códigos y en consecuencia, un millón de gamas de color (sensación de color). Donde el 1% se toma como la unidad de medición que se denomina: "cuanto de sensación".

A continuación se presenta la tabla de relaciones matemáticas entre colores primarios y elementales:

Az	V	R	
99	99	99	B
00	99	99	A
99	00	99	M
99	99	00	C
99	00	00	Az
00	99	00	V
00	00	99	R
00	00	00	N

Tabla 12. Sistema de código de colores primarios.

4.6 EFICIENCIA DE LA REACCIÓN.

Esta característica indica el grado de aprovechamiento de la composición al transformarse por medio de la combustión a energía radiante en determinado lapso de tiempo.

Se expresa de la siguiente forma:

$$EFI = (IL \cdot t) / m$$

Donde:

EFI = Eficiencia de la combustión.(bujía*s/g).

IL = Intensidad luminosa (bujía).

t = tiempo (seg).

m = masa (g).

Se deduce que la eficiencia ideal sería el obtener una alta intensidad luminosa durante un largo lapso de tiempo a muy bajo consumo de composición.

El valor de la eficiencia puede ser desde cero hasta valores muy superiores a uno, ya que la eficiencia varía mucho de acuerdo a la composición pirotécnica que se trate.

La eficiencia se puede mejorar utilizando retardadores (carbonatos, oxalatos, etc.) y combustibles con alta emisión de luz (como el aluminio, magnesio, etc.) sólo que hay que encontrar la combinación apropiada de formulación entre el retardador y el

combustible, ya que se contraponen, por una parte el agregar combustible aumenta la velocidad de combustión y por lo tanto disminuye el tiempo de combustión, y por la otra el agregar retardador prolonga el tiempo de combustión pero interfiere en la reacción del combustible con el oxidante, causando una disminución en la intensidad luminosa.

La mayoría de los artesanos pirotécnicos prefieren una intensidad luminosa alta (que a veces resulta excesiva para el espectador, resultando molesta "demasiado brillante") aunque el tiempo de exposición sea corto o el costo de material sea mayor para ajustar al tiempo necesario.

El espectador prefiere muchas veces observar la "quema de castillos" con intensidades bajas pero colores "vivos" es decir, con saturación de color alta sin que lastime la intensidad luminosa. Cuando se sacrifica tanto la intensidad luminosa que la saturación de color resulta poco sensitiva, así que lo ideal sería encontrar una mediación entre la intensidad luminosa y la saturación de color de tal forma que se pueda apreciar el color de la luz sin que moleste su brillantez. Y es un problema que hoy en día se enfrentan la mayoría de los artesanos pirotécnicos.

4.7 TEMPERATURA DE IGNICIÓN.

Es la temperatura necesaria para que la combustión se lleve a cabo, para la pirotecnia artesanal (fuegos artificiales) dicha característica no interesa ya que al terminar de cargar las mezclas en las bujías de papel se adiciona una pequeña cantidad de pólvora negra que está conectada a la mecha negra, así la pólvora negra

transfiere el calor necesario para dar ignición a la mezcla de composición de la luz azul.

4.8 ESTABILIDAD.

La mezcla para la luz azul pirotécnica artesanal ya almacenada en la bujía de papel y fuera de está es segura, y las características de intensidad luminosa e índice de color permanecen inalterables, además el almacenamiento es por lo regular corto (de una a dos semanas) ya que inmediatamente es utilizado.

Por otra parte las fórmulas artesanales que utilizan aluminio y magnesio en polvo como combustibles se oxidan lentamente con la humedad transformándose en hidróxidos y liberando hidrógeno. Las impurezas en el metal, como el hierro, cobre, plomo, cadmio, cinc, nitruros, carburos y cloruros, aceleran la corrosión. Los nitratos de sodio, bario y estroncio, el oxalato de sodio y otros componentes normales de las mezclas pirotécnicas también aceleran esta reacción y dan origen a otras reacciones químicas en presencia de humedad. Por eso, la presencia inicial de humedad en la mezcla pirotécnica ocasiona inevitablemente la oxidación del metal con desprendimiento de hidrógeno y de otros productos de la reacción con otros ingredientes. La presencia de gas puede ocasionar la distorsión o ruptura de los compuestos pirotécnicos, además la ignición de tal mezcla es seguida de una combustión extraordinariamente rápida o incluso de explosión.

Por lo anterior siempre que sea posible hay que utilizar reactivos no higroscópicos.

V.-FACTORES QUE AFECTAN LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS COMPOSICIONES PIROTÉCNICAS DE LA LUZ AZUL ARTESANAL.

5.1 INTRODUCCIÓN.

Las características⁽¹⁾ de las composiciones pirotécnicas de la luz azul artesanal (mencionada en el capítulo anterior) depende de factores que determinan su comportamiento:

- 1) La granulación de los ingredientes.
- 2) Área de superficie ardiente.
- 3) Pureza de los ingredientes.
- 4) Tipo de caja de bujía.
- 5) Presión de la carga.
- 6) Humedad.
- 7) Grado de encerramiento durante la combustión.

5.2 LA GRANULACIÓN DE LOS INGREDIENTES.

En las cualidades de combustión de una composición pirotécnica influye notablemente la granulación de los ingredientes.

Con la granulación se modifica el diámetro medio de la partícula y la superficie específica de cada reactivo.

Para las composiciones pirotécnicas comerciales o militares en general se observa que a medida que se disminuye el diámetro medio de la partícula de los ingredientes, la velocidad de combustión y la intensidad luminosa aumentan, mientras que la saturación de color disminuye. De lo anterior, se hace notar la importancia que representa el tamaño adecuado de la partícula para tener el punto medio adecuado entre la intensidad luminosa, el índice de color y la velocidad de combustión.

Para granular los ingredientes se realiza un cernido con tamices normales.

Se toman en cuenta las siguientes características para especificar los tamices normales:

- 1) Número de malla.
- 2) Número de alambre.
- 3) Diámetro de partícula medio (mm).
- 4) Abertura (mm).
- 5) Porcentaje de área abierta.

El mezclado.

El mezclado para la luz azul artesanal contiene clorato de potasio por lo que se requiere cuidado. En primer lugar se tamiza el carbón y la goma laca, luego el clorato de potasio sobre la mezcla con un tamiz distinto, para finalmente mezclar en forma manual todos los ingredientes.

5.3 ÁREA DE SUPERFICIE ARDIENTE.

Es el área donde se lleva a cabo la combustión de las composiciones pirotécnicas comerciales, donde la combustión progresa de capa en capa.

El área de superficie ardiente es circular, ya que las bujías de papel tienen un volumen cilíndrico, donde la base del cilindro corresponde al área de superficie ardiente. Los valores del área de superficie ardiente oscilan entre 0.7 cm^2 a 1.0 cm^2 , que en comparación con las utilizadas en la pirotécnica militar que oscilan los valores entre 17 cm^2 a 70 cm^2 , resultan mucho muy menores.

5.4 PUREZA DE LOS INGREDIENTES.

La pureza de los ingredientes influye directamente en la calidad de los productos pirotécnicos, ya que los artesanos pirotécnicos utilizan fórmulas heredadas por los padres o familiares, así a través de los años los artesanos realizan las mismas pesadas de ingredientes. El problema que se enfrentan es cuando alguno de los ingredientes está rebajado, es decir, cuando la pureza disminuye. Con regularidad, existen dos clases de ingredientes:

A) Los ingredientes técnicos.

B) Los ingredientes puros.

A) Los ingredientes técnicos.

Son ingredientes que presentan mayor porcentaje de impurezas y son utilizados a nivel industrial.

B) Los ingredientes puros.

Son ingredientes que tienen bajo porcentaje de impurezas y son considerados ingredientes a nivel laboratorio.

La ventaja del ingrediente puro es que soporta una humedad relativa mucho mayor que el ingrediente técnico, evitando reacciones químicas en presencia de humedad que pueden producir ignición y por consiguiente explosión. Por lo tanto se pueden fabricar artículos pirotécnicos estables que a la larga resulta más barato emplear sustancias puras en lugar de ingredientes técnicos.

Para la pirotecnia artesanal que elabora juguetería pirotécnica puede ser conveniente manejar ingredientes puros ya que se pueden almacenar por periodos largos para su venta final cuando llega la temporada que es en septiembre (por las festividades patrias) y noviembre, diciembre (por las festividades religiosas) en México.

Los artesanos que elaboran fuegos artificiales utilizan ingredientes técnicos, ya que su elaboración es de una semana antes de quemar los castillos, modificando

costos, ya que es mucho más económico un ingrediente técnico, pero la calidad del juego pirotécnico disminuye, ya que las impurezas interfieren en la combustión considerablemente, de aquí surge la necesidad de reforzar la calidad del juego pirotécnico utilizando reforzadores de color. En este trabajo se elige como candidato a reforzar el color de la luz azul pirotécnica artesanal al acetato de cobre.

5.5 TIPO DE CAJA DE BUJÍA.

La caja de bujía consiste en un cilindro hueco, y que en una de sus bases se encuentra cerrada o sellada. En la base abierta se introduce la composición pirotécnica que se conoce como "carga".

Existen dos tipos de caja de bujía:

1)Caja de bujía metálica.

2)Caja de bujía de papel.

1) La caja de bujía metálica.

Es utilizada en la pirotecnia militar debido a que utilizan presiones de carga muy elevadas (entre 400 Kg/cm² y 1300 Kg/cm²).

2) La caja de bujía de papel.

Es utilizada en la pirotecnia artesanal donde las presiones de carga son muy bajas (0.5 Kg/cm^2 en promedio). Existiendo peligro en el momento de cargar la mezcla pirotécnica ya que el artesano utiliza una varilla metálica que introduce en la base del cilindro de papel para golpear a la mezcla mediante un martillo de madera, en algunas composiciones donde utilizan cloratos, azufre, carbón y nitratos juntos pueden ocasionar una explosión si la presión ejercida es muy fuerte y momentánea, Para la composición azul utilizada en este trabajo es poco probable que estalle la mezcla a presiones instantáneas altas principalmente porque no hay aluminio.

El tipo de caja de bujía empleado en la carga de las composiciones pirotécnicas puede producir marcado efecto sobre las cualidades de combustión. Así, la misma composición cargada en una caja metálica da mayor intensidad luminosa y una velocidad de combustión mas grande que si se carga en una caja de papel.

Manufactura de la caja de bujía de papel.

La manufactura de la caja de bujía de papel es un procedimiento sencillo, donde la fabricación de la caja de bujía está totalmente hecha a mano, que es característica de la artesanía.

La elaboración se realiza en los hogares o se contrata por destajo para su manufactura a personas ajenas a la terminación del producto. Por lo general las personas que elaboran las cajas de bujía son personas que no tienen raíces pirotécnicas pero que de un modo hábita en la localidad donde se produce la

pirotecnia, contribuyendo en gran medida al aporte artesanal que esto representa, siendo a su vez un modo de ingresos extra para la familia.

Su elaboración no resulta peligrosa, por lo que familias enteras las participan.

Los pasos de fabricación de la caja de bujía a nivel comercial son los siguientes:

- A) Selección del papel y corte del mismo.**
- B) Preparación del adhesivo.**
- C) Procedimiento de envolvimiento del papel.**
- D) Secado de la caja de bujía de papel.**

Pasos sólo realizados por los artesanos pirotécnicos:

- E) Corte de la caja de bujía de papel.**
- F) Cierre de un extremo de la caja de bujía de papel.**

A continuación se explicará cada uno de los incisos anteriores:

A) Selección del papel y corte del mismo.

El papel utilizado por los artesanos es tomado del papel desechado por las empresas que imprimen su manejo de datos en impresoras de computadora. Los intermediarios compran el papel para ser vendidos directamente a los artesanos en pacas de 20 Kg.

El peso del papel oscila entre 50 y 58 g/m² utilizadas en dichas impresoras. Como las hojas vienen continuas se procede a separarlas. Luego de tener las hojas separadas se procede a doblar cada hoja en tres partes iguales referido al lado mas largo de la hoja. Finalmente se cortan las partes dobladas.

B) Preparación del adhesivo.

Para fabricar la caja de bujía de papel es necesario adhesivo para mantener la forma de dicha caja permanentemente, por lo que se prepara el adhesivo que consiste simplemente en harina de trigo solubilizada en agua y calentada a fuego lento y en agitación constante para finalmente agregarle 15 g de calhidra por 3 litros de adhesivo. Hasta que el adhesivo quede espeso y consistente, que es conocido como engrudo. La calhidra tiene la finalidad de dar dureza a la bujía de papel.

C) Procedimiento de envolvimiento del papel.

1) Se coloca la hoja de papel sobre una superficie lisa (sobre una mesa) comenzando con la impregnación de una película de adhesivo sobre toda la superficie de la hoja.

2) Una varilla metálica (aluminio o fierro) perfectamente lisa en toda su superficie se coloca a lo largo de la parte más larga de la hoja y a un tercio de la parte ancha de la misma. Ese tercio es doblado por encima de la varilla, de tal forma que queda envuelta. Para finalmente girar la varilla hacia los dos tercios restantes del

papel quedando el papel en forma de tubo, que con el mismo adhesivo sirve como lubricante para que la varilla se extraiga del papel quedando un tubo largo.

D) Secado de la caja de bujía.

Ya extraída la varilla queda el papel en forma de tubo que se coloca a los rayos del sol por un promedio de 6 horas, quedando perfectamente seco.

E) Corte de la caja de bujía de papel.

Mediante una cuchilla de acero sumamente filosa colocada en forma perpendicular a la superficie de una mesa perfectamente sujeta se procede al corte de los tubos. Se toman de 20 a 25 tubos (los que pueda sujetar la mano de la persona) y con las dos manos, mediante la presión ejercida por el peso del cuerpo de la persona. Se corta el tubo del tamaño deseado, que oscila de 10 cm a 13 cm de largo.

5.6 PRESIÓN DE CARGA.

La fuerza ejercida por unidad de área de superficie a arder sobre la composición pirotécnica dentro de la caja de bujía de papel se conoce como presión de carga.

Al aumentar la presión de carga sobre la mayoría de las composiciones pirotécnicas se disminuye la velocidad de combustión es decir, se incrementa el tiempo de combustión. En las fórmulas que contienen magnesio, aumenta en algo la

intensidad luminosa, mientras que en las composiciones con aluminio como principal combustible la intensidad luminosa queda relativamente inalterada por las variaciones de la presión de carga.

Las presiones de carga a nivel militar se encuentran entre 140 Kg/cm² a 1760 Kg/cm². Mientras que las presiones de carga a nivel artesanal se encuentran en promedio de 0.5 Kg/cm² teniendo como limite la resistencia del papel de la caja de bujía a la presión antes de que fracture.

5.7 HUMEDAD.

La humedad es un factor determinante que caracteriza a la composición pirotécnica, dicho grado de humedad influye directamente sobre la mezcla y en combinación con las impurezas que presentan los ingredientes puede provocar reacciones laterales prematuras no deseadas que dan como resultado la ignición de la mezcla.

Por lo tanto, se recomienda lugares secos, donde la precipitación pluvial promedio sea baja.

5.8 GRADO DE ENCERRAMIENTO DURANTE LA COMBUSTIÓN.

La velocidad de combustión del compuesto se ve influenciada por el grado de encerramiento en que se quema, a causa de los productos gaseosos de la reacción.

A presión mayor del gas resulta más rápida la combustión, de tal forma que a condiciones favorables la reacción ocurre tan rápido que da origen a una explosión.

Con este principio se fabrican los cohetones, los silbatos, y todo producto pirotécnico artesanal que emite sonido.

La mayoría consiste en cilindros rellenos de la mezcla reaccionante y cerrados completamente, quedando solo un pequeño orificio para introducir la mecha de encendido.

VI.- ESTUDIO DEL ACETATO DE COBRE COMO REFORZADOR DE LA LUZ AZUL ARTESANAL PIROTÉCNICA.

6.0 INTRODUCCIÓN.

En este apartado se especifica los ensayos experimentales con la mezcla pirotécnica artesanal siguiente:

Clorato de potasio.

Sulfato de cobre.

Goma laca.

Carbón vegetal.

Que como se observa no contiene azufre puro, sólo dentro del sulfato de cobre. Se realizan diferentes mezclas de la composición anterior agregando solamente acetato de cobre por lo que quedan fijas las cantidades de los demás ingredientes.

Para todas las experimentaciones fue necesario mantener constantes todos factores que influyen directamente en la combustión de la luz azul pirotécnica artesanal, es lo que en el siguiente apartado se expresa.

6.1 FACTORES QUE SE MANTUVIERON CONSTANTES EN LAS COMPOSICIONES PIROTÉCNICAS ARTESANALES.

6.1.1 GRANULACIÓN DE LOS INGREDIENTES.

La granulación de los ingredientes se mantuvo constante en los siguientes apartados: 6.2, 6.3 y 6.5 donde el número de mallado fue de 42.

En el apartado 6.4 se varía la granulación a los siguientes mallados:

Malla número 42.

Malla número 140.

Malla número 350.

Las especificaciones del número de mallado se presentan en el apéndice 7.3.4.

6.1.2 PRESIÓN DE CARGA.

La presión de carga es de 0.5 Kg/cm² para los apartados 6.2 y 6.4.

Para el apartado 6.3 se varía la presión:

0.5 Kg/cm².

1.0 Kg/cm².

1.5 Kg/cm².

2.0 Kg/cm².

6.1 FACTORES QUE SE MANTUVIERON CONSTANTES EN LAS COMPOSICIONES PIROTÉCNICAS ARTESANALES.

6.1.1 GRANULACIÓN DE LOS INGREDIENTES.

La granulación de los ingredientes se mantuvo constante en los siguientes apartados: 6.2, 6.3 y 6.5 donde el número de mallado fue de 42.

En el apartado 6.4 se varía la granulación a los siguientes mallados:

Malla número 42.

Malla número 140.

Malla número 350.

Las especificaciones del número de mallado se presentan en el apéndice 7.3.4.

6.1.2 PRESIÓN DE CARGA.

La presión de carga es de 0.5 Kg/cm² para los apartados 6.2 y 6.4.

Para el apartado 6.3 se varía la presión:

0.5 Kg/cm².

1.0 Kg/cm².

1.5 Kg/cm².

2.0 Kg/cm².

6.1.3 AREA DE SUPERFICIE ARDIENTE.

El área de superficie ardiente de la bujía de papel es de 0.7854 cm^2 , el cálculo se encuentra en el apéndice 7.5.1.

6.1.4 PUREZA DE LOS INGREDIENTES.

La pureza de los ingredientes permanece constante a lo largo de toda la experimentación. Las especificaciones están en el apéndice 7.5.7.

6.1.5 TIPO DE CAJA DE BUJÍA.

La caja de bujía es de papel (ver capítulo V) y se utiliza el mismo tipo de caja en todos los experimentos.

6.1.6 HUMEDAD.

No se controló; sin embargo, se trabajó en la época del año en que no llueve (enero-febrero), por lo que se puede suponer que la humedad de las sustancias no varió mucho.

6.1.7 GRADO DE ENCERRAMIENTO DURANTE LA COMBUSTIÓN.

La combustión de la bujía de papel se realizó dentro del iluminómetro durante todos los experimentos.

6.2 ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS COMPOSICIONES AZULES PIROTÉCNICAS ARTESANALES INCORPORANDO ACETATO CÚPRICO EN SU FORMULACIÓN.

6.2.1 OBJETIVO DEL EXPERIMENTO.

a) Cuantificar el índice de color, intensidad luminosa, eficiencia de la reacción y velocidad de reacción de la mezcla azul pirotécnica artesanal sin contenido de azufre puro, al adicionar acetato cúprico.

b) Determinar mediante las características de la luz azul pirotécnica artesanal con adición de acetato cúprico, la función de éste como reforzador del color.

6.2.2 INTRODUCCIÓN.

La formulación de la luz azul pirotécnica artesanal puede variar de acuerdo a los recursos económicos que el pirotécnico tenga y la necesidad del mercado, esto implica que el pirotécnico varíe su calidad de saturación de azul en función de la formulación que realice para cada caso específico.

Referencias previas:

a) El pirotécnico utiliza la goma laca como un controlador de tamaño de flama, el exceso de ésta causa un goteo de producto líquido fusionado que interfiere en el área de superficie ardiente. Además la flama le da un color amarillento en la zona baja o zona fría. También da una "humeada" mucho mayor, es decir, aumenta la emisión de gases producidos.

b) El pirotécnico utiliza el azufre como un "encendedor" de la mezcla, para la fórmula utilizada en este trabajo no se utilizará azufre puro.

c) El clorato de potasio conocido como "clorato" es para el pirotécnico el ingrediente básico y sin él es imposible crear la luz azul.

d) El sulfato de cobre es conocido comúnmente como "sulfato", los pirotécnicos saben que un pequeño exceso de éste causa la inhibición de la reacción, cuando esto sucede agregan primero goma laca y si no tiene éxito utilizan azufre, sabiendo de antemano que el azufre es nocivo y el utilizar lo menos posible dicho reactivo beneficia a la ecología, "contamina menos". Además que resulta para el ser vivo irritante al sistema olfativo y óptico.

e) En el azul artesanal se presenta una pequeña corona violácea alrededor de la flama y se debe según los pirotécnicos al azufre. Pero si tratan de eliminar dicha corona agregando más sulfato resulta que la reacción se inhibe, entonces agregan goma laca dando (según el pirotécnico) "mayor fuerza" de la flama es decir, se activa

la reacción con el combustible agregado dando una luz azul con color blancusco-amarillento en el centro de la flama.

f) Muchos pirotécnicos prefieren eliminar la corona anaranja-rojiza presentando un azul con amarillo-blancusco en la parte inferior de la flama. Por lo que si la luz azul se encuentra girando, el matiz del azul se entremezcla con el color blancusco-amarillento dando un azul muy tenue para el espectador. El pirotécnico desea un azul en toda la flama para evitar ese matiz azul-blancusco-amarillento al momento de estar girando la rueda del castillo pirotécnico.

Experimentación previa:

Se realizó una experimentación cualitativa sobre el comportamiento de cada ingrediente, dando los siguientes resultados:

- 1) Al agregar sulfato de cobre disminuye el tamaño de flama.
- 2) La goma laca aumenta el tamaño de flama, pero si no hay suficiente oxidante es inútil el agregar dicho combustible.
- 3) La goma laca aumenta el tamaño de flama, pero el exceso de éste provoca aparición de una flama amarillenta y mucha emisión de gas.
- 4) El exceso de clorato de potasio provoca proyección de producto fusionado de color anaranjado.

El acetato cúprico es un candidato para ser reforzador para la mezcla de la luz azul sin azufre puro, debido a que contiene cobre II, dando la posibilidad de que el cobre se oxide y libere luz de color azul. Además el acetato cúprico es un compuesto orgánico, por lo que puede tener la función de combustible.

6.2.3 MATERIAL UTILIZADO.

Bujía de papel.

Cargador a presión.

Espátula.

Balanza granataria.

Registrador.

Encendedor de gas.

Vidrio de reloj.

Mortero.

Iuminómetro.

Malla del número 42.

Papel encerado.

Guantes de hule.

Varilla para bujía de papel.

Portabujía metálico.

6.2.4 FACTORES QUE SE MANTUVIERON CONSTANTES.

- 1) Granulación de los ingredientes.
- 2) Presión de carga.
- 3) Área de superficie ardiente.
- 4) Pureza de los ingredientes.
- 5) Tipo de caja de bujía.
- 6) Humedad.
- 7) Grado de encerramiento durante la combustión.

6.2.5 PROCEDIMIENTO.

a) Realizar la mezcla de la fórmula pirotécnica artesanal sin contenido de azufre puro que es la siguiente:

Clorato de potasio: 73.170%.

Sulfato de cobre: 15.854%.

Goma laca: 9.756%.

Carbón vegetal: 1.22%.

Presentada en por ciento en peso (%).

La preparación de la mezcla se realiza en los siguientes pasos:

1) Todos los ingredientes primero se pulverizan utilizando un mortero, en segundo lugar se hace pasar cada uno por la malla 42 dejando al último al clorato de potasio para evitar accidentes. Aclarando que la malla se limpia perfectamente después de haber hecho pasar cada uno de los ingredientes por dicha malla.

2) Pesarse mediante el vidrio de reloj cada uno de los ingredientes con base de 60 g de clorato de potasio.

3) La mezcla de los ingredientes se realiza en forma suave sobre un papel encerado para evitar la incrustación de los ingredientes en el papel y la fricción. Se mezcla con los guantes puestos hasta que quede perfectamente mezclado, hasta que la mezcla sea homogénea.

4) a) Almacenar la mezcla dentro de una bolsa de plástico perfectamente cerrada, ya que el sulfato de cobre se humedece al ambiente.

b) Por otra parte se prepara la bujía de papel de la siguiente forma:

i) Se adquiere la bujía de papel con un pirotécnico o se fabrica siguiendo los pasos mencionados en el capítulo V. El pirotécnico da la bujía de papel ya cortada al tamaño apropiado listo para ser cargada la mezcla en la bujía.

ii) Para las pruebas realizadas en este trabajo las bujías se rellenan primero con tierra perfectamente seca en su parte inferior para sólo dejar sin rellenar la parte en la que se introduce la mezcla pirotécnica, el pirotécnico utiliza una pulgada de profundidad de relleno para la mezcla.

c) Con las referencias de los pirotécnicos y los experimentos cualitativos previos (ver introducción) toda la experimentación se basa en proceder por ensayo y error. Así que con la mezcla base ya formulada en el inciso a), se parte para realizar las siguiente modificación:

iii) Agregar acetato de cobre a la mezcla base en pequeñas cantidades en forma gradual, manteniendo constante la cantidad de todos los demás ingredientes. dejar de agregar acetato de cobre hasta que la reacción se inhiba. Realizar por lo menos tres experimentaciones por cada agregación de acetato de cobre.

d) Con las bujías de papel ya cargadas con tierra, se deja un espacio de aproximadamente una pulgada mediante una varilla, la cual tiene provista una marca de una pulgada (2.54 cm) para dejar el hueco en la bujía para introducir finalmente la mezcla pirotécnica azul.

e) Se pesa cada bujía de papel antes de agregar la mezcla pirotécnica.

f) Se introduce la mezcla pirotécnica a cuantificar dentro de la bujía mediante la varilla. Luego se procede a colocar la bujía dentro del portabujía metálico.

g) Se coloca el portabujía a bajo del pistón del cargador a presión y se bombea aire hasta una presión de carga de 0.5 Kg/cm^2 . Se observa que la bujía esté completamente llena, si no es así, agregar mas mezcla a la bujía hasta que quede completamente llena a una presión de carga de 0.5 Kg/cm^2 .

h) Ya cargada la mezcla a la presión indicada, se coloca el portabujía metálico en la posición exacta indicada en el iluminómetro (18.5 cm de distancia de las fotoceldas, ver anexo 7.3.1).

i) Por otra parte colocar previamente el rollo de papel en cada uno de los dos registradores en forma correcta. Conectar el registrador a la fuente de energía eléctrica. Conectar los cables de entrada de pulsaciones eléctricas venidas de las fotoceldas del iluminómetro en forma correcta (ver anexo 7.3.1).

j) En el registrador la velocidad del papel se coloca a 10 cm/min, la escala de registro es de 0-100 mV. Colocar perfectamente sujetado el plumín marcador. Calibrar a cero de la hoja del registrador.

k) Asegurar la colocación correcta de la mica azul en una fotocelda dentro del iluminómetro.

l) Finalmente encender el registrador (power) y el movimiento del papel (chart).

m) Con el encendedor de gas, encender la bujía dentro del iluminómetro y cerrar inmediatamente la puerta. En este momento las fotoceldas están captando la intensidad luminosa emitida por la bujía.

n) Por último anotar el número de determinación experimental realizada sobre el papel del registrador. Checar que todo funcione perfectamente, tanto el movimiento del papel como la colocación de la bujía dentro del iluminómetro.

ñ) Para la curva de la conversión de voltaje a luminación. Se procede de la misma forma pero en lugar de utilizar bujía de papel se introducen focos de diferentes potencias, registrando la intensidad luminosa donde está colocada la mica azul.

o) Para la curva de calibración de las fotoceldas se retira la mica azul colocada en una de las fotoceldas y se cuantifica la diferencia entre las lecturas de las fotoceldas que teóricamente deben arrojar los mismos resultados.

6.2.6 RESULTADOS.

TABLA DE RESULTADOS:

Simbología:

ILASA I = Intensidad luminosa de área de superficie ardiente referido a la lectura de la fotocelda I (sin filtro de color), bujía/cm².

ILASA II = Intensidad luminosa de área de superficie ardiente referido a la lectura de la fotocelda II (con filtro de color), bujía/cm².

VEL. DE COMB. = Velocidad de combustión de la bujía de papel, cm/min.

EFI I = Eficiencia de la reacción referido a la fotocelda I (sin filtro de color), bujíaseg/g.

EFI II = Eficiencia de la reacción referido a la fotocelda II (con filtro de color), bujíaseg/g.

Tabla 13. Tabla de resultados del comportamiento de las características físicas de la luz azul pirotécnica artesanal con adición de acetato de cobre.

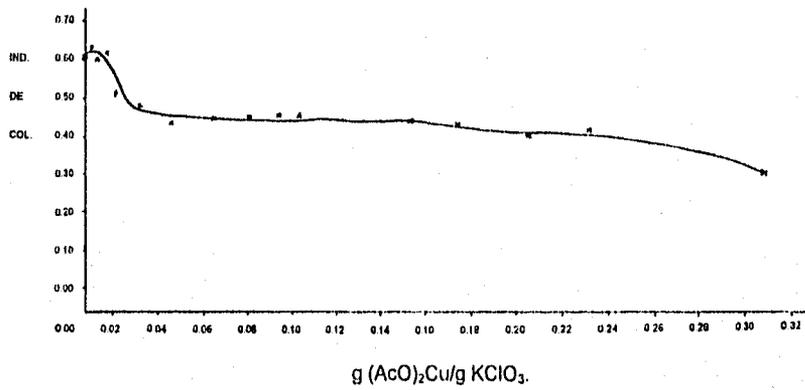
EXP.	HLASA I bujía/cm ³	HLASA II bujía/cm ³	INDICE DE COLOR	VEL. DE COMB. (cm/min)	EPI I bujías/seg/g	EPI II bujías/seg/g	gramos de acetato de cobre / gramos de clorato de potasio
1	3.20187	2.019771	0.6306	5.33	32.3421	20.395	0.00
2	2.80141	1.67116	0.59654	5.106	28.202	16.8239	0.00
3	4.022657	2.50864	0.623629	5.00	41.360	25.790	0.00
PROM	3.34231	2.06652	0.616923	5.14	33.968	21.00297	0.00
4	5.6567	3.61167	0.63847	5.00	55.630	35.519	0.003416759
5	5.90189	3.58308	0.607106	6.00	58.350	35.541	0.003416759
6	7.1247	4.30754	0.604596	5.33	68.670	41.520	0.003416759
PROM	6.22776	3.8341	0.616721	5.4433	60.9578	37.52667	0.003416759
7	6.91777	4.46006	0.644721	5.33	69.855	45.037	0.006833518
8	6.77615	4.3511	0.642121	5.33	65.3152	41.3152	0.006833518
9	6.19546	3.8829	0.62670	5.581	59.781	37.4647	0.006833518
PROM	6.62979	4.23135	0.637847	5.4136	64.9837	41.2723	0.006833518
10	6.87951	3.99693	0.58098	5.5813	63.364	36.8134	0.010250277
11	6.64839	3.98863	0.59994	5.454	65.643	39.3818	0.010250277
12	6.113587	3.81037	0.623261	5.454	57.619	35.9118	0.010250277
PROM	6.547162	3.93198	0.601393	5.49643	62.2086	37.5219	0.010250277
13	5.283885	3.31918	0.628172	5.283885	58.5144	36.7591	0.013667036
14	5.83262	3.65342	0.626376	5.83262	63.217	39.597	0.013667036
15	5.97988	3.69895	0.618565	5.971988	59.043	36.5219	0.013667036
PROM	5.698795	3.55718	0.624371	5.698795	60.2581	37.6263	0.013667036
16	7.0626	3.632103	0.51427	5.647	70.7237	36.37109	0.015185556
17	6.7727	3.4773	0.513427	5.0526	68.9088	35.3796	0.015185556
18	8.0110	4.0725	0.508346	5.0526	89.6609	45.578	0.015185556
PROM	7.2821	3.7273	0.51201	5.25073	76.43115	39.10956	0.015185556
19	5.2891	2.624374	0.496185	5.333	53.409	26.5009	0.030371122

EXP.	IIASA I bujia/cm ²	IIASA II bujia/cm ²	INDICE DE COLOR	VEL. DE CONH. (cm/min)	EFI I bujias/g	EFI II bujias/g	gramos de acetato de cobre / gramos de clorato de potasio
20	7.09143	3.4597	0.487783	5.647	67.630	32.989	0.030371122
21	7.87646	3.79551	0.48187	5.333	83.510	40.2425	0.030371122
PROM	6.75233	3.29319	0.48861	5.43667	68.183	33.2441	0.030371122
22	6.97608	3.0842	0.4421	5.647	82.1853	36.3341	0.04555666
23	5.70724	2.42093	0.4241	5.647	51.955	22.01448	0.04555666
24	6.95045	3.060158	0.44028	5.33	70.184	30.900	0.04555666
PROM	6.54459	2.8551	0.43549	5.54133	68.1081	29.75619	0.04555666
25	7.65857	3.577632	0.4671	5.33	70.6113	32.9825	0.060742224
26	6.22631	2.88233	0.4629	5.647	62.349	18.861	0.060742224
27	7.00492	3.03292	0.43297	5.33	78.18159	33.850	0.060742224
PROM	6.96327	3.16429	0.45432	5.432567	70.3806	31.8978	0.060742224
28	5.751883	2.488119	0.43259	5.333	60.9866	26.3822	0.075927780
29	7.37981	3.228380	0.437406	5.647	77.7897	34.0303	0.075927780
30	8.2033	3.904456	0.478963	5.333	86.978	41.3986	0.075927780
PROM	7.11166	3.20699	0.44867	5.43767	75.251	33.93703	0.075927780
31	7.08233	3.116065	0.439976	5.05263	75.49052	33.21402	0.091113336
32	7.85167	3.52889	0.449446	5.05263	92.5005	41.57397	0.091113336
33	6.050256	2.729037	0.45106127	5.05263	67.7141	30.54324	0.091113336
PROM	6.99475	3.12466	0.44683	5.05263	78.568	35.11041	0.091113336
34	7.0049258	3.114631	0.444634	5.647	73.8381	32.830951	0.106298893
35	6.8143	2.92398	0.42909	5.647	64.98735	27.88542	0.106298893
36	6.33407	2.90965	0.45936	5.05263	67.514925	31.01365	0.106298893
PROM	6.7177	2.98275	0.44436	5.44888	68.78013	30.57667	0.106298893
37	5.77933	2.48004	0.42912	4.80	64.844	27.8259	0.151855561
38	5.84384	2.5484	0.43609	5.0526	65.403	28.5216	0.151855561
39	5.0673	2.18474	0.431149	4.57143	65.980	28.447	0.151855561
PROM	5.56349	2.40439	0.43212	4.808	65.409	28.26483	0.151855561
40	3.6124	1.435846	0.397467	3.840	53.1984	21.1446	0.168698
41	3.48801	1.45801	0.418007	4.1739	49.7431	20.793	0.168698

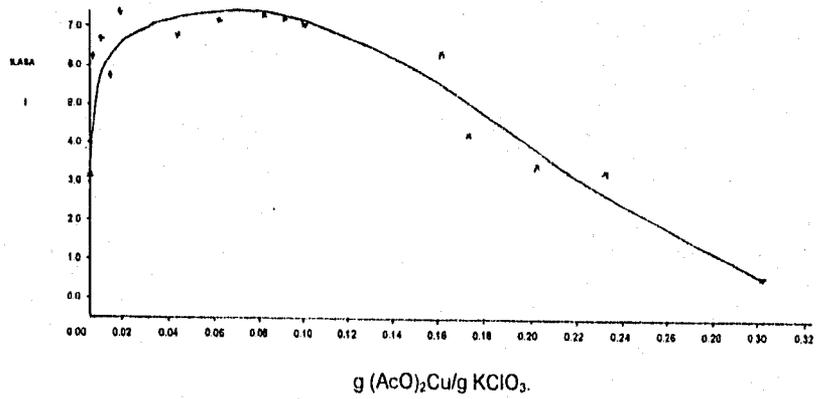
EXP.	ILASA I bujla/cm ³	ILASA II bujla/cm ³	INDICE DE COLOR	VEL. DE COMB. (cm/min)	EFI I bujlaseg/g	EFI II bujlaseg/g	gramos de acetato de cobre / gramos de clorato de potasio
42	4.25534	1.96956	0.46284	4.1739	50.4321	22.9294	0.168698
PROM	3.88460	1.62114	0.42610	4.06260	54.540	23.14207	0.168698
43	3.9569	1.56457	0.395399	4.1739	53.609	21.1969	0.199371
44	2.13888	0.763315	0.356887	3.555	34.0159	12.13985	0.199371
45	3.72247	1.69247	0.45466	4.1739	50.4321	22.9294	0.199371
PROM	3.27175	1.34012	0.40232	3.96760	46.01902	18.51437	0.199371
46	2.5361	0.97351	0.38384	3.6913	38.842	14.9091	0.227783
47	2.88694	1.28936	0.436627	3.840	42.5137	18.5626	0.227783
48	4.17008	1.56458	0.3751915	4.1739	89.47037	22.3127	0.227783
PROM	3.19774	1.26582	0.39855	3.90207	46.942	18.5948	0.227783
49	0.717117	0.28571	0.3984	4.1739	9.2529	3.6863	0.303711122
50	0.4970446	0.082795	0.16157	2.40	12.327	2.0534	0.303711122
PROM	0.60708	0.18425	0.282485	3.28695	10.78995	2.86985	0.303711122

Ver apéndice 7.4 para la realización de cálculos.

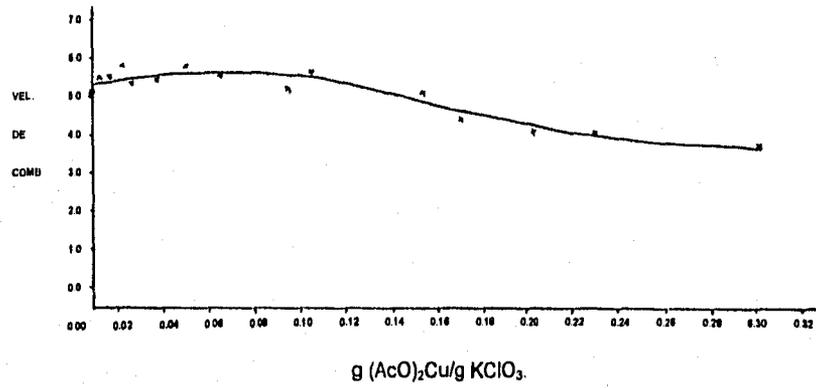
Gráfica 1. COMPORTAMIENTO DEL ÍNDICE DE COLOR REFERIDO A LA TABLA 13.



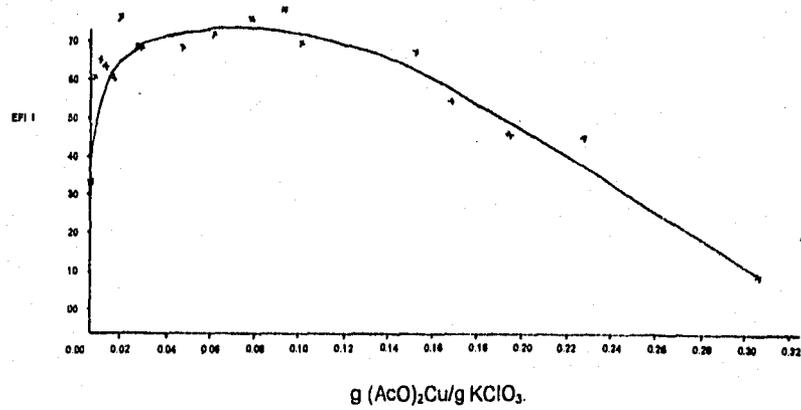
Gráfica 2. COMPORTAMIENTO DE LA INTENSIDAD LUMINOSA TOTAL REFERIDO A LA TABLA 13. (luja/cm²).



Gráfica 3. COMPORTAMIENTO DE LA VELOCIDAD DE COMBUSTIÓN REFERIDO A LA TABLA 13.(cm/min).



Gráfica 4. COMPORTAMIENTO DE LA EFICIENCIA DE LA REACCIÓN REFERIDO A LA TABLA 13 . (bujuseg/g).



En las gráficas de las diferentes características de la luz azul contra la relación en peso de acetato cúprico/clorato de potasio se observa que:

a) El índice de color permanece constante hasta 0.618 con 0.015 (g acetato de cobre/g clorato de potasio), luego se decrementa bruscamente hasta 0.468, para finalmente tener como límite 0.282 donde después de este punto la reacción de combustión no se lleva a cabo. Mientras tanto, la intensidad luminosa se ve bruscamente incrementada de 3.35 bujía/cm² a 6.25 bujía/cm² a índice de color constante (0.618), para luego seguir incrementándose hasta un máximo de 7.1 bujía/cm² coincidiendo con la eficiencia máxima, para finalmente disminuir a 0.6 bujía/cm².

b) Al aumentar la intensidad luminosa de 3.35 hasta su máxima brillantez (7.1 bujía/cm²) el índice de color correspondiente disminuye de 0.61 a 0.47 para luego ir decrementándose tanto el índice de color como la intensidad luminosa. La velocidad de reacción disminuye de 5.2 cm/min hasta 3.2 cm/min teniendo un máximo de 5.45 cm/min que coincide con la eficiencia y la intensidad luminosa máxima. Mientras que la eficiencia inicial sin acetato cúprico es de 39.5 bujíaseg/g, máxima de 76.6 bujíaseg/g para llegar a una eficiencia de 11.4 bujíaseg/g.

6.2.7 ANÁLISIS DE RESULTADOS.

De la gráficas 1,2,3 y 4, se observa que antes de que se presenten los máximos (máxima intensidad luminosa, eficiencia y velocidad) la intensidad luminosa y el índice de color se comportan en forma inversa, lo que concuerda con lo reportado en la bibliografía.

El acetato cúprico mejora la eficiencia de la reacción muy probablemente por la acción del anión acetato, ya que cuando se usa cloruro de cobre (ver pag. 22) disminuyó la eficiencia.

Se esperaba que el acetato cúprico mejorara tanto el índice de color como la intensidad luminosa, pero paso que el anión acetato interfirió hasta cierto grado en la emisión del color azul del cobre, aumentando la intensidad luminosa.

Posibles errores cometidos durante la experimentación:

Los resultados obtenidos de las lecturas emitidas por las fotoceldas presentan un posible error sistemático, ya que existieron pérdidas debidas a la reflexión y refracción de la mica o filtro como de las mismas fotoceldas.

El error humano se puede presentar al no colocar con exactitud el portabujías en la distancia de 18.5 cm, además de no encender en forma homogénea sobre la superficie de cada cartucho la mezcla. El error humano se trató de evitar a lo largo de todos los experimentos.

Otro posible error es el circunstancial, ya que a lo largo de los meses de experimentación la humedad pudo haber cambiado; para evitar en lo posible éste error, inmediatamente después de realizar la preparación de la mezcla pirotécnica se almacena en un frasco perfectamente cerrado, al igual que todos los ingredientes.

6.2.8 CONCLUSIONES.

Las conclusiones son las siguientes:

a) La luz azul artesanal pirotécnica sin contenido de azufre puro se beneficia al incorporar acetato cúprico hasta 0.015 (g acetato cúprico/g de clorato de potasio), ya que la mejora se presenta en el incremento de la intensidad luminosa que pasa de 3.35 bujía/cm² a 6.25 bujía/cm² manteniéndose constante el índice de color en 0.618.

b) Se esperaba que el acetato cúprico mejorara tanto el índice de color como la intensidad luminosa, pero resultó que el anión acetato probablemente interfirió hasta cierto grado en la emisión del color azul del cobre, aumentando la intensidad luminosa.

c) Ya que el mejoramiento de la intensidad luminosa forma parte de una de las características de la luz azul se concluye finalmente que el acetato cúprico es candidato a reforzar la intensidad luminosa a índice de color constante.

6.3 ESTUDIO DE VARIACIÓN DE PRESIÓN DE CARGA.

6.3.1 OBJETIVO DEL EXPERIMENTO.

Determinar la influencia de la variación de presión de cargado en la bujía de papel sobre las características de la luz azul pirotécnica artesanal sin contenido de azufre puro.

6.3.2 INTRODUCCIÓN.

La mayoría de los pirotécnicos aplican una presión promedio de 0.5 kg/cm^2 sobre la bujía de papel en forma cualitativa que varía con cada artesano, la mayoría de los artesanos no tan experimentados llegan a tener accidentes en el momento de cargar, realizando la cargada de la mezcla pirotécnica con una velocidad de compresión muy rápida, causando una explosión.

El propósito de este apartado es controlar la presión de carga con el fin de mejorar las características de la luz azul pirotécnica artesanal.

6.3.3 MATERIAL UTILIZADO.

Bujía de papel.

Cargador a presión.

Espátula.

Balanza granataria.

Registrador.

Encendedor de gas.

Vidrio de reloj.

Mortero.

Iluminómetro.

Malla del número 42.

Papel encerado.

Guantes de hule.

Varilla para bujía de papel.

Portabujía metálico.

6.3.4 FACTORES QUE SE MANTUVIERON CONSTANTES.

- 1) Granulación de los ingredientes.**
- 2) Composición pirotécnica.**
- 3) Área de superficie ardiente.**
- 4) Pureza de los ingredientes.**
- 5) Tipo de caja de bujía.**
- 6) Humedad.**
- 7) Grado de encerramiento durante la combustión.**

6.3.5 PROCEDIMIENTO.

El procedimiento de preparación de la bujía de papel, así como la instalación del iluminómetro y los registradores se realiza de la misma forma que en el apartado 6.2.5. La preparación de la mezcla también sigue los mismos pasos que en apartado 6.2.5, dicha mezcla permanecerá constante a lo largo de este experimento.

a) Preparar la mezcla con la composición siguiente relación en peso:

Clorato de potasio/clorato de potasio = 1.

Goma laca/clorato de potasio = 0.1333.

Sulfato de cobre/clorato de potasio = 0.21667.

Acetato cúprico/clorato de potasio = 0.020500552.

b) Variar la presión de carga. Preparar bujías con la mezcla anterior para las siguientes presiones:

1) 0.5 Kg/cm².

2) 1.0 Kg/cm².

3) 2.0 Kg/cm².

Con las debidas precauciones (no cargar rápido de un solo golpe sino poco a poco).

6.3.6 RESULTADOS.

Se presenta a continuación la siguiente tabla de resultados.

Tabla 14. Resultados a presión de carga de 0.50 Kg/cm².

EXP.	ILASA I bujla/cm ³	ILASA II bujla/cm ³	INDICE DE COLOR	VEL. DE COMB. (cm/min)	EPI I bujlaes/g	EPI II bujlaes/g	gramos de acetato de cobre / gramos de clorato de potasio
51	6.30124	3.88788	0.61203	5.2174	62.09034	38.0215	0.02050055
52	7.21154	4.74938	0.65767	5.5813	69.68211	45.82784	0.02050055
53	6.41038	3.69469	0.57636	5.1064	74.725	43.06899	0.02050055
PROM	6.64439	4.11065	0.61768	5.3017	63.94131	42.29933	0.02050055

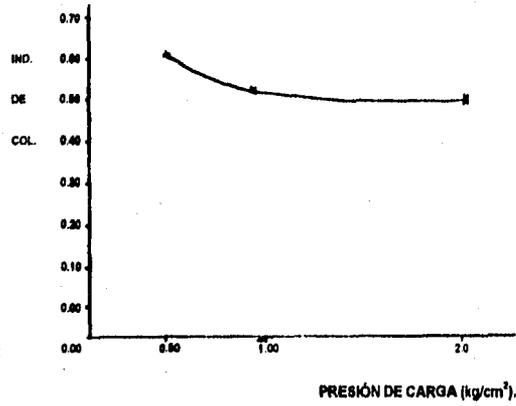
Tabla 15. Resultados a presión de carga de 1.0 Kg/cm².

EXP.	ILASA I bujla/cm ³	ILASA II bujla/cm ³	INDICE DE COLOR	VEL. DE COMB. (cm/min)	EPI I bujlaes/g	EPI II bujlaes/g	gramos de acetato de cobre / gramos de clorato de potasio
54	6.8633	3.93714	0.57365	5.333	69.306	39.885	0.02050055
55	6.51469	3.46521	0.53191	5.1064	65.586	31.1764	0.02050055
56	6.10071	3.0874	0.50607	5.333	61.605	34.403	0.02050055
PROM	6.4929	3.49658	0.53721	5.25747	65.499	35.27317	0.02050055

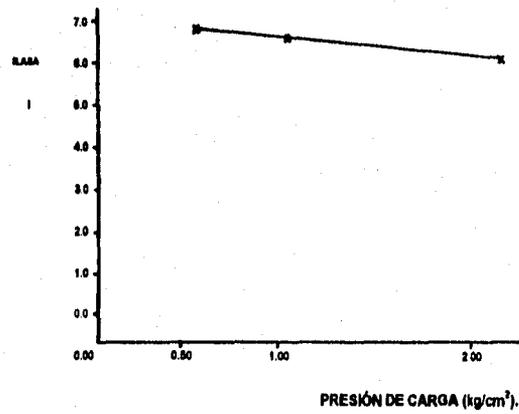
Tabla 16. Resultados a presión de carga de 2.0 Kg/cm².

EXP.	IIASA I bujla/cm ¹	IIASA II bujla/cm ¹	INDICE DE COLOR	VEL. DE COMB. (cm/min)	EFI I bujlaseg/g	EFI II bujlaaerg/g	gramos de acetato de cobre / gramos de clorato de potasio
57	6.31043	3.34613	0.53025	5.00	64.88129	34.40331	0.02050055
58	5.9723	3.13144	0.52433	5.1064	60.1256	31.52566	0.02050055
59	5.68674	3.13097	0.55058	5.333	57.424	31.6168	0.02050055
PROM	5.98982	3.20285	0.53505	5.14647	60.8103	32.51526	0.02050055

Gráfica 5. COMPORTAMIENTO DEL ÍNDICE DE COLOR REFERIDO A LAS TABLAS 14, 15, 16.

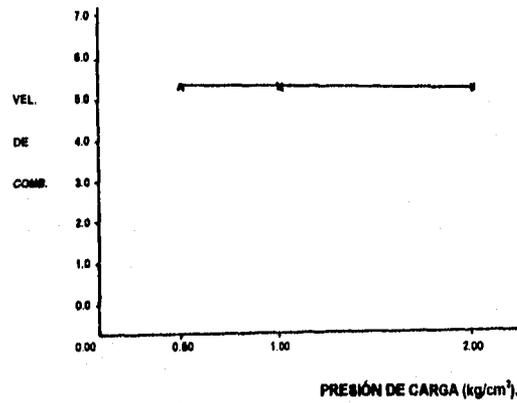


Gráfica 6. COMPORTAMIENTO DE LA INTENSIDAD LUMINOSA TOTAL REFERIDO A LAS TABLAS 14, 15, 16. (lujla/cm²).

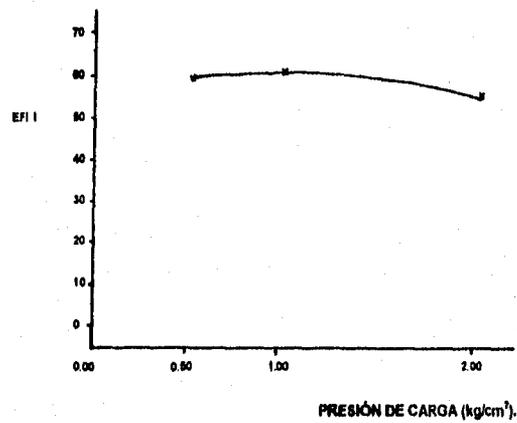


ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

Gráfica 7. COMPORTAMIENTO DE LA VELOCIDAD DE COMBUSTIÓN REFERIDO A LAS TABLAS 14, 15, 16. (cm/min).



Gráfica 8. COMPORTAMIENTO DE LA EFICIENCIA DE LA REACCIÓN REFERIDO A LAS TABLAS 14, 15, 16. (bujaseg/g).



6.3.7 ANÁLISIS DE RESULTADOS.

De acuerdo a referencias bibliográficas, en la mayoría de las composiciones pirotécnicas se observa una disminución de la velocidad de combustión al incrementarse la presión. En la gráfica 7, de presión de carga contra velocidad de combustión se observa la tendencia hacia el decremento en la velocidad de combustión cuando se incrementa la presión de carga, por lo que coincide lo experimental con lo reportado en la bibliografía.

El índice de color se decrementa junto con la intensidad luminosa al incrementarse la presión de carga, sin embargo, la eficiencia se mejora con una presión de carga de $1,0 \text{ Kg/cm}^2$.

6.3.8 CONCLUSIÓN.

Por lo tanto, es conveniente cargar la mezcla a presiones bajas ($0,5 \text{ Kg/cm}^2$), porque el índice de color es mayor, además se observa que la velocidad de combustión permanece casi constante y la eficiencia de la reacción también varía poco.

6.4 ESTUDIO DE LA VARIACIÓN DE GRANULACIÓN SOBRE LA MEZCLA PARA LA LUZ AZUL PIROTÉCNICA ARTESANAL

6.4.1 OBJETIVO DEL EXPERIMENTO.

Cuantificar la influencia de variación del tamaño de partícula de los ingredientes de la luz azul pirotécnica artesanal sin contenido de azufre puro incorporando acetato cúprico.

6.4.2 INTRODUCCIÓN.

La malla utilizada por los pirotécnicos es aproximadamente del número 42, que es la misma utilizada en este trabajo en el apartado 6.2 y 6.3.

La malla que utilizan los pirotécnicos es por lo general de plástico. La variación de la granulación de los ingredientes es muy importante para la presentación homogénea de la combustión de la luz azul artesanal, ya que si el tamaño de partícula es diferente para un compuesto puede presentarse una alternada variación en la emisión de luz durante el espectáculo.

6.4.3 MATERIAL UTILIZADO.

Bujía de papel.

cargador a presión.

Espátula.

Balanza granataria.

Registrador.

Encendedor de gas.

Vidrio de reloj.

Mortero.

Huminómetro.

Malla del número 42, 140, 350.

Papel encerado.

Guantes de hule.

Varilla para bujía de papel.

Portabujía metálico.

6.4.4 FACTORES QUE SE MANTUVIERON CONSTANTES.

1) Presión de carga.

2) Composición pirotécnica.

3) Área de superficie ardiente.

- 4) Pureza de los ingredientes.
- 5) Tipo de caja de bujía.
- 6) Humedad.
- 7) Grado de encerramiento durante la combustión.

6.4.5 PROCEDIMIENTO.

El procedimiento de preparación de la bujía de papel, así como la instalación del luminómetro y los registradores se realiza de la misma forma que en el apartado 6.2.5.

- a) Se procede a realizar la composición con la siguiente relación en peso:

Clorato de potasio/clorato de potasio = 1.

Goma laca/clorato de potasio = 0.1333.

Sulfato de cobre/clorato de potasio = 0.21667.

Acetato de cobre/clorato de potasio = 0.0170.

b) Se realiza con cada malla la granulación de la mezcla; a malla 42, 140, 350, para una cantidad mínima de dos bujías por número de malla.

6.4.6 RESULTADOS.

Tabla de resultados:

Tabla 17. Resultados del comportamiento de las características físicas a número de malla 42:

EXP.	ILASA I BUJÍA/CM ¹	ILASA II BUJÍA/CM ²	ÍNDICE COLOR	VELOC. COMB. CM/MIN	EFI I BUJIASEG/G	EFI II BUJIASEG/G	GRAMOS DE ACETATO DE COBRE/ GRAMOS DE CLORATO DE POTASIO
60	6.41254	4.1427	0.64604	6.00	66.693	42.693	0.01708
61	6.34844	3.7186	0.69496	6.10638	63.826	40.0737	0.01708
PROM	6.67949	3.9691	0.67996	6.06319	69.878	41.3333	0.01708

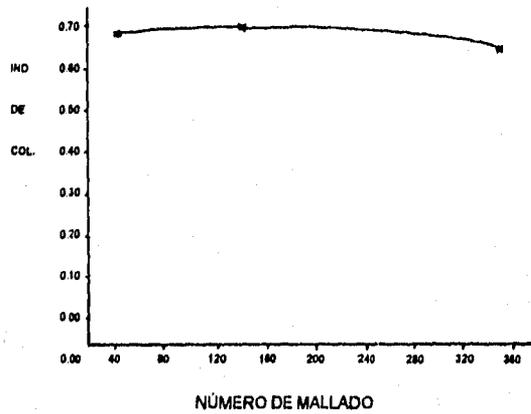
Tabla 18. Resultados del comportamiento de las características físicas a número de malla 140:

EXP.	ILASA I BUJÍA/CM ²	ILASA II BUJÍA/CM ²	ÍNDICE COLOR	VELOC. COMB. CM/MIN	EFI I BUJÍASEG/G	EFI II BUJÍASEG/G	GRAMOS DE ACETATO DE COBRE/ GRAMOS DE CLORATO DE POTASIO
62	5.22329	3.34510	0.64042	5.8536	48.0563	30.7763	0.01708
63	6.06031	4.44515	0.73348	5.8536	55.750	40.8971	0.01708
PROM	5.64180	3.89513	0.68695	5.8536	51.903	35.8367	0.01708

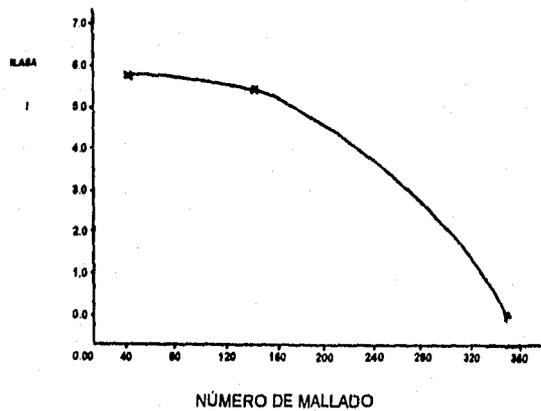
Tabla 19. Resultados del comportamiento de las características físicas a número de malla 350:

EXP.	ILASA I BUJÍA/CM ²	ILASA II BUJÍA/CM ²	ÍNDICE COLOR	VELOC. COMB. CM/MIN	EFI I BUJÍASEG/G	EFI II BUJÍASEG/G	GRAMOS DE ACETATO DE COBRE/ GRAMOS DE CLORATO DE POTASIO
64	0.44975	0.25487	0.56670	3.8095	6.0692	3.43949	0.01708
65	0.48300	0.28272	0.58534	4.286	6.0695	3.55283	0.01708
PROM	0.46637	0.26880	0.57603	4.04775	6.06935	3.49616	0.01708

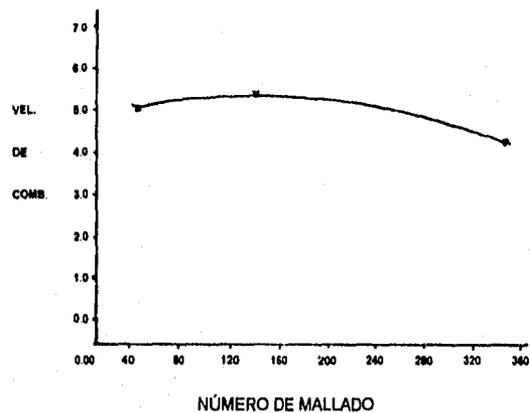
Gráfica 9. COMPORTAMIENTO DEL ÍNDICE DE COLOR REFERIDO A LAS TABLAS 17, 18, 19.



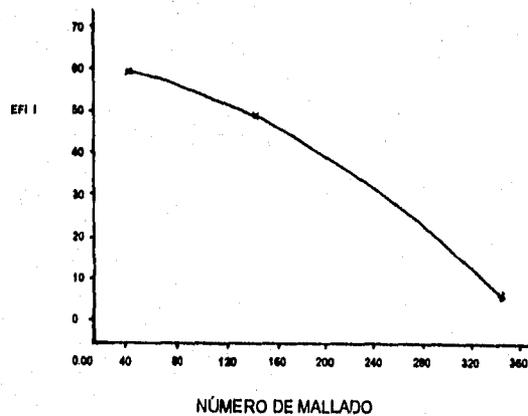
Gráfica 10. COMPORTAMIENTO DE LA INTENSIDAD LUMINOSA TOTAL REFERIDO A LAS TABLAS 17, 18, 19. (bujla/cm^2).



Gráfica 11 COMPORTAMIENTO DE LA VELOCIDAD DE COMBUSTIÓN REFERIDO A LAS TABLAS 17, 18, 19. (cm/min).



Gráfica 12 COMPORTAMIENTO DE LA EFICIENCIA DE LA REACCIÓN REFERIDO A LAS TABLAS 17, 18, 19. (hujaseg/g).



6.4.7 ANÁLISIS DE RESULTADOS.

a) El índice de color presenta un ligero aumento al manejar la mezcla con malla 140 para decrementar notablemente a malla 350.

b) Aunque el índice de color se mejora utilizando malla 140, la velocidad de combustión se incrementa, disminuyendo el tiempo de exposición con respecto a utilizar malla 42.

c) Claramente se observa la tendencia de la intensidad luminosa decrementarse conforme el tamaño de partícula disminuye.

d) Al igual que la intensidad luminosa, la eficiencia de la reacción se decrementa al utilizar mayor número de mallado es decir, al disminuir el tamaño de partícula.

6.4.8 CONCLUSIÓN.

Se concluye que no es conveniente para la luz azul pirotécnica artesanal sin contenido de azufre puro el utilizar mallado de número grande (350) porque la intensidad luminosa disminuye considerablemente en comparación con el índice de color y la velocidad de combustión que se decrementa ligeramente. Por esto se recomienda utilizar un número de malla que oscile entre 40 y 140.

6.5 ESTUDIO DEL TONO DE COLOR DE LA LUZ ARTESANAL PIROTÉCNICA CON Y SIN ACETATO CÚPRICO.

6.5.1 OBJETIVO DEL EXPERIMENTO.

Cuantificar el tono de color de la luz azul pirotécnica artesanal con y sin acetato cúprico.

6.5.2 INTRODUCCIÓN.

El tono de color es una de las cualidades fundamentales para la identificación del color de la luz azul pirotécnica. En este apartado se realiza la cuantificación del tono de color a partir de la medición del índice de color, y mediante el sistema de códigos de colores primarios se asigna el tono de color (ver capítulo IV).

6.5.3 MATERIAL UTILIZADO.

Bujía de papel.

cargador a presión.

Espátula.

Balanza granataria.

Registrador.

Encendedor de gas.

Vidrio de reloj.

Mortero.

Iluminómetro.

Malla del número 80.

Papel encerado.

Guantes de hule.

Varilla para bujía de papel.

Portabujía metálico.

6.4.4 FACTORES QUE SE MANTUVIERON CONSTANTES.

1) Presión de carga.

2) Composición pirotécnica.

3) Área de superficie ardiente.

4) Pureza de los ingredientes.

5) Tipo de caja de bujía.

6) Humedad.

7) Grado de encerramiento durante la combustión.

8) Número de malla 80.

6.5.5 PROCEDIMIENTO.

El procedimiento de preparación del papel, así como la instalación del iluminómetro y los registradores se realiza de la misma forma que en apartado 6.2.5.

a) Preparar la mezcla con las siguientes relaciones en peso respecto al clorato de potasio:

Relación en peso	Primera relación en peso.	Segunda relación en peso.	Tercera relación en peso	Cuarta relación en peso
Clorato de potasio/clorato de potasio	1.00	1.00	1.00	1.00
Goma laca/clorato de potasio	0.1333	0.1333	0.1333	0.1333
Sulfato de cobre/clorato de potasio	0.21667	0.21667	0.21667	0.21667
Carbón vegetal/clorato de potasio	0.01667	0.1667	0.1667	0.01667
Acetato de cobre/clorato de potasio	0.00	0.010	0.0150	0.060

Tabla 20. Preparaciones de mezcla en relación peso en base clorato de potasio.

b) Cuantificar las características de la luz azul con cada de las relaciones en peso, primero con la colocación de la mica azul en una de las fotoceldas, luego cambiar la mica azul por una mica roja y finalmente con una mica verde.

6.5.6 RESULTADOS.

Tabla 21. Resultado del comportamiento de las características físicas de la luz azul a diferentes micas de color (azul, rojo, verde).

EXP.	(SIN MICA) ILASA I BUJIA/CM ²	(CON MICA) ILASA II BUJIA/CM ²	ÍNDICE COLOR	VELOC. COMB. CM/MIN	EFII BUJIASEG/G	EFII BUJIASEG/G	GRAMOS DE ACETATO DE COBRE/ GRAMOS DE CLORATO DE POTASIO
66 MICA ROJA	3.302	1.30	0.386	6.33	38	13.82	0.000
67 MICA ROJA	3.20	1.28	0.4023	6.33	35.71	14.36	0.000
68 MICA ROJA	3.32	1.26	0.3848	6.33	44.96	17.28	0.000
Promedio	3.274	1.28	0.3939	6.33	38.56	15.16	0.000
69 MICA ROJA	6.12	2.38	0.3890	6.46	63.43	24.67	0.010
70 MICA ROJA	6.74	2.67	0.3818	6.33	66.06	25.98	0.010
71 MICA ROJA	6.80	2.66	0.3918	6.46	70.48	27.51	0.010
Promedio	6.66	2.63	0.3882	6.41	67.32	26.06	0.010
72 MICA ROJA	7.60	2.67	0.3830	6.46	77.74	29.82	0.016
73 MICA ROJA	7.10	2.74	0.3862	6.58	68.80	26.46	0.016
74 MICA ROJA	8.00	3.02	0.3780	6.58	81.06	30.63	0.016

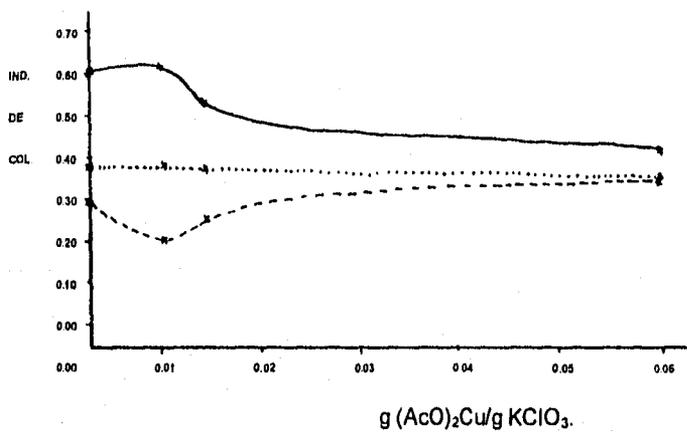
EXP.	(SIN MICA) ILASA I BUJIA/CM ²	(CON MICA) ILASA II BUJIA/CM ²	INDICE COLOR	VELOC. COMB. CM/MIN	EFI BUJIASEG/G	EFI II BUJIASEG/G	GRAMOS DE ACETATO DE COBRE/ GRAMOS DE CLORATO DE POTASIO
Promedio	7.63	2.67	0.3826	6.63	76.76	28.96	0.015
76 MICA ROJA	7.38	2.79	0.3784	6.46	74.78	28.29	0.060
76 MICA ROJA	7.24	2.67	0.3692	6.71	68.23	26.19	0.060
77 MICA ROJA	7.18	2.76	0.3846	6.71	74.67	28.67	0.060
Promedio	7.28	2.73	0.3773	6.62	72.62	27.38	0.060
78 MICA VERDE	3.00	0.774	0.268	6.3	31.80	9.20	0.000
79 MICA VERDE	2.94	0.877	0.2985	6.33	31.17	9.30	0.000
80 MICA VERDE	3.30	1.01	0.3074	6.33	33.31	10.24	0.000
Promedio	3.08	0.887	0.2879	6.33	32.09	9.24	0.000
81 MICA VERDE	6.60	1.36	0.206	6.46	68.41	14.09	0.010
82 MICA VERDE	6.80	1.40	0.2069	6.33	68.66	14.13	0.010
83 MICA VERDE	6.64	1.29	0.1945	6.33	70.40	13.69	0.010
Promedio	6.68	1.36	0.2021	6.37	69.16	13.97	0.010
84 MICA VERDE	7.66	2.34	0.3894	6.46	76.36	24.24	0.015
86 MICA VERDE	7.28	2.00	0.2762	6.46	71.66	19.67	0.015
86 MICA VERDE	7.64	2.14	0.2804	6.68	77.40	21.70	0.015

EXP.	(SIN MICA) ILASA I BUJIA/CM ²	(CON MICA) ILASA II BUJIA/CM ²	INDICE COLOR	VELOC. COMB. CM/MIN	EFI I BUJIA/SEG/G	EFI II BUJIA/SEG/G	GRAMOS DE ACETATO DE COBRE/ GRAMOS DE CLORATO DE POTASIO
Promedio	7.48	2.16	0.2886	6.49	75.78	21.87	0.016
87 MICA VERDE	7.30	2.68	0.3671	6.66	77.84	20.67	0.060
88 MICA VERDE	7.60	2.79	0.3584	6.68	79.02	26.32	0.060
89 MICA VERDE	7.10	2.61	0.3684	6.71	70.26	26.88	0.060
Promedio	7.4	2.69	0.3646	6.62	75.70	27.89	0.060
90 MICA AZUL	3.32	2.02	0.610	6.33	36.20	21.47	0.000
91 MICA AZUL	2.80	1.76	0.687	6.46	32.61	19.41	0.000
92 MICA AZUL	3.08	1.89	0.6148	6.33	31.10	19.20	0.000
Promedio	3.12	1.09	0.6072	6.37	32.93	20.02	0.000
93 MICA AZUL	6.84	4.22	0.618	6.46	70.91	43.82	0.010
94 MICA AZUL	6.41	3.88	6.6065	6.48	69.96	42.42	0.010
95 MICA AZUL	6.38	3.94	0.6180	6.48	62.98	38.92	0.010
Promedio	6.54	4.01	0.6141	6.46	67.96	42.06	0.010
96 MICA AZUL	7.24	2.77	0.622	6.58	69.86	38.46	0.016
97 MICA AZUL	7.60	4.14	0.6626	6.48	74.06	40.81	0.016
98 MICA AZUL	7.48	3.80	0.6083	6.58	75.79	38.82	0.016

EXP.	(SIN MICA) ILASA I BUJÍA/CM ²	(CON MICA) ILASA II BUJÍA/CM ²	ÍNDICE COLOR	VELOC. COMB. CM/MIN	EFII BUJÍASEG/G	EFII BUJÍASEG/G	GRAMOS DE ACETATO DE COBRE/ GRAMOS DE CLORATO DE POTASIO
Promedio	7.40	3.67	0.6276	6.63	73.22	38.63	0.016
99 MICA AZUL	7.40	3.02	0.4092	6.71	69.74	28.63	0.060
100 MICA AZUL	7.20	2.98	0.4162	6.71	76.00	31.14	0.060
101 MICA AZUL	7.16	2.78	0.3890	6.71	70.76	27.62	0.060
Promedio	7.26	2.82	0.4044	6.71	71.83	28.87	0.060

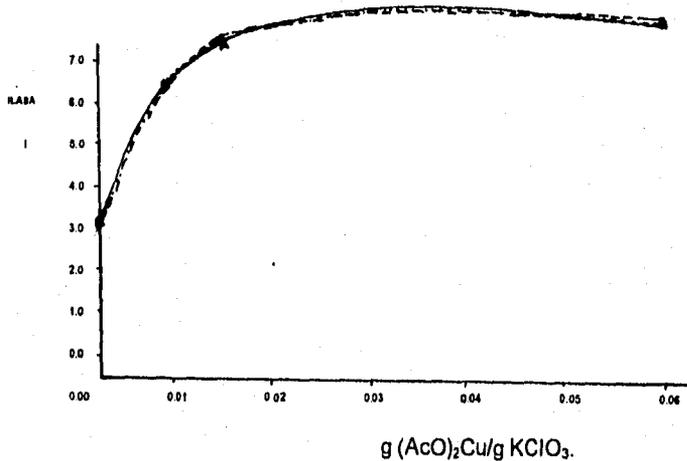
Ver anexos 7.4 para fines de cálculo.

Gráfica 13. COMPORTAMIENTO DEL ÍNDICE DE COLOR REFERIDO A LA TABLA 21.

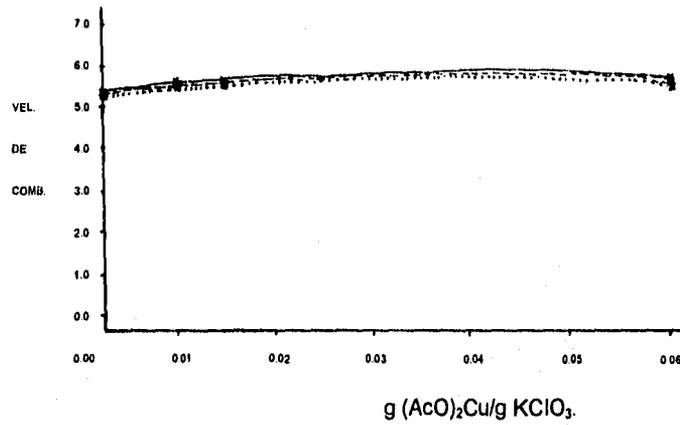


LECTURA DE: MICA VERDE - - - - MICA ROJA MICA AZUL ———

Gráfica 14. COMPORTAMIENTO DE LA INTENSIDAD LUMINOSA TOTAL REFERIDO A LA TABLA 21. (bujía/cm²).

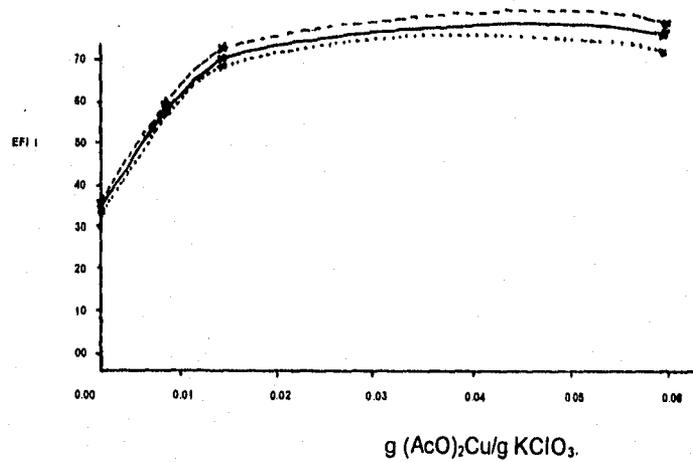


Gráfica 15. *COMPORTAMIENTO DE LA VELOCIDAD DE COMBUSTIÓN REFERIDO A LA TABLA 21. (cm/min).*



LECTURA DE: MICA VERDE - - - - MICA ROJA MICA AZUL ———

Gráfica 16. *COMPORTAMIENTO DE LA EFICIENCIA DE LA REACCIÓN REFERIDO A LA TABLA 21. (bujías/g).*



Tono de color:

Mediante el sistema de códigos de colores primarios se designa el tono de color a partir del índice de color para el color azul, rojo y verde a diferentes relaciones en peso de acetato cúprico y clorato de potasio, resultando el siguiente tono de color:

Tabla 22. Tono de color de la luz azul pirotécnica artesanal con $(\text{AcO})_2\text{Cu}$.

g acetato/g clorato	Rojo	Verde	Azul
0,000	39,50	25,80	61,00
0,000	40,23	29,85	59,70
0,000	38,45	30,74	61,48
PROMEDIO	39,39	28,79	60,71
0,010	38,90	20,60	61,80
0,010	38,18	20,59	60,65
0,010	39,18	19,45	61,80
PROMEDIO	38,75	20,21	61,40
0,015	38,36	30,94	52,20
0,015	38,62	27,62	55,25
0,015	37,80	28,04	50,83
PROMEDIO	38,35	28,86	52,76
0,060	37,84	36,71	40,92
0,060	36,92	35,84	41,25
0,060	38,45	36,84	41,25
PROMEDIO	37,73	36,46	40,44

6.5.7 ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Analizando los resultados anteriores se observa claramente que al obtener la máxima cantidad de color azul (61.4 cuantos de sensación); la cantidad de color verde decrementa bruscamente de 28.79 a 19.45 cuantos de sensación, con una relación en peso de acetato cúprico/clorato de potasio; de 0.015, mientras que la cantidad de color rojo se mantiene prácticamente constante (de 39.39 a 38.75). Después de rebasar el máximo índice de color azul, el color verde aumenta notablemente.

6.5.8 CONCLUSIÓN.

Del análisis anterior se afirma con esta cualidad de la luz azul; como es el tono de color, que a pesar de que la cantidad de color azul dentro de la flama (índice de color) permanece prácticamente constante hasta 0.015 g de acetato cúprico/g de clorato de potasio, la cantidad de color verde decrementa bruscamente y la cantidad de color rojo se mantiene casi constante, observándose en suma una mejora en el tono de color al adicionar acetato cúprico.

6.6. CONCLUSIÓN GLOBAL.

Al adicionar acetato de cobre en la mezcla pirotécnica de color azul sin contenido de azufre puro se observaron las siguientes mejoras en las cualidades del color:

- a) Incremento en la intensidad luminosa total, por lo que la flama de la luz se aumentó en brillantez.
- b) Mejora en tono de color, debido al decremento del color verde en la flama.
- c) Mantiene la cantidad de color azul y rojo prácticamente constante.
- d) A presiones bajas (0.5 kg/cm^2) y a número de mallas que oscilen entre 40 y 140 se mejoran notablemente las características de la luz azul pirotécnica artesanal sin contenido de azufre puro.
- e) Resulta bajo el costo para adicionar al acetato cúprico sobre la formulación de la luz azul pirotécnica artesanal (ver apéndice 7.1).

Por lo que se concluye finalmente que el acetato de cobre es un buen reforzador del color azul artesanal pirotécnico formulado en este trabajo.

VII.-APÉNDICES.**7.1 ESTUDIO DEL COSTO PARA LA APLICACIÓN DEL ACETATO CÚPRICO PARA LA LUZ AZUL PIROTÉCNICA ARTESANAL.**

Costo de los ingredientes en junio de 1995.

INGREDIENTE	COSTO EN NS POR Kg
Clorato de potasio	35
Sulfato de cobre	22
Goma laca	18
Carbón vegetal	3
Acetato cúprico	70

Tabla 23. Precios de los reactivos pirotécnicos para la luz azul.

Otorgados por la compañía PENNWALT S.A., ubicada en Santa Clara, Estado de México. Dicha compañía es una de las principales empresas que provee a los pirotécnicos.

Considerando del análisis de resultados del apartado 6.2.6 se elige 0.015 g de acetato cúprico/g de clorato de potasio agregado debido a que es la relación en la que aumenta la intensidad luminosa manteniendo el índice de color constante que se toma como referencia para el estudio de costos.

La relación en peso respecto al clorato de potasio sin acetato cúprico es la siguiente:

Gramos de clorato de potasio / gramos de clorato de potasio = 1.

Gramos de goma laca / gramos de clorato de potasio = 0,1333.

Gramos de sulfato de cobre / gramos de clorato de potasio = 0.21667.

Gramos de carbón vegetal / gramos de clorato de potasio = 0.01667.

Pasando la siguiente relación en peso en por ciento en peso resulta:

INGREDIENTE	%
Sulfato de cobre	15,85
Clorato de potasio	73,17
Goma laca	9,756
Carbón vegetal	1,126

Tabla 24. Relación peso de la fórmula azul pirotécnica.

Tomando como base 1 kilogramo de mezcla total se realiza el costo de la mezcla

sin acetato de cobre:

INGREDIENTE	Kg * NS	NS	% costo
Clorato de potasio	0.7317 Kg * NS 35.00	25.06	74,56
Sulfato de cobre	0.1585 Kg * NS 22.00	3.48	9,76
Goma laca	0.09756 Kg * NS 18.00	1.756	4,91
Carbón vegetal	0.01126 Kg * NS 3.00	0,0338	0,1024
Acetato cúprico	0.00 Kg * NS 70,00	0,00	0,00

Tabla 25. Costo de la mezcla sin acetato cúprico.

Costo total: NS 30.89.

La relación en peso respecto al clorato de potasio con acetato cúprico es la siguiente:

Gramos de clorato de potasio / gramos de clorato de potasio = 1.

Gramos de goma laca / gramos de clorato de potasio = 0.1333.

Gramos de sulfato de cobre / gramos de clorato de potasio = 0.21667.

Gramos de carbón vegetal / gramos de clorato de potasio = 0.01667.

Gramos de acetato cúprico / gramos de clorato de potasio = 0.0150.

Pasando la siguiente relación en porcentaje en peso resulta:

INGREDIENTE	%
Sulfato de cobre	15.65
Clorato de potasio	72.38
Goma laca	9.648
Acetato cúprico	1.091
Carbón vegetal	1.201

Tabla 26. Porcentaje en peso de la fórmula pirotécnica con acetato cúprico.

Tomando como base 1 kilogramo de mezcla total se realiza el costo de la mezcla con acetato cúprico:

INGREDIENTE	Kg * NS	NS	% costo
Clorato de potasio	0.72378 Kg * NS 35,00	25.3323	80,88
Sulfato de cobre	0.15682 Kg * NS 22,00	3,45	11,01
Goma laca	0.09648 Kg * NS 18,00	1.73664	5,545
Carbón vegetal	0.01201 Kg * NS 3,00	0,03603	0,115
Acetato cúprico	0.01091 Kg * NS 70,00	0.7637	2,438

Tabla 27. Costo de la mezcla con acetato cúprico.

Costo total: NS 31.19.

La diferencia entre el costo sin y con acetato cúprico es el siguiente:

$$NS\ 31.19 - NS\ 30.89 = NS\ 0.3097.$$

El aumento de N \$ 0.31 por kilogramo de mezcla pirotécnica resulta prácticamente despreciable en comparación con la mejora en la intensidad luminosa a índice de color constante para la luz azul artesanal pirotécnica.

7.2 FACTORES DE SEGURIDAD Y SU REGLAMENTACIÓN.

Los accidentes ocurridos a lo largo de la historia de la pirotecnia se deben al grado de encerramiento en que se encuentra cualquier mezcla que contenga oxígeno y combustible que al encenderse produce una explosión o estallamiento.

Para evitar estos accidentes se recomienda:

- 1) Disponer de pequeños talleres.
 - a) Ampliamente espaciados.
 - b) Sólo una persona trabajando en cada taller.
- 2) Taller de construcción de poca resistencia.
 - a) Paredes clavadas.
 - b) Techo enclavijado.

Así, se evita el menor encerramiento ante un posible incendio.
- 3) Armado de talleres de dentro hacia fuera.

Paredes interiores lisas para poder lavarse fácilmente. Dos o más puertas que habrán hacia fuera y asegurarlas con grapas exteriores de resorte.

- 4) Tener el piso ranurado, y tener debajo una superficie o piso liso de fácil lavado a chorro de agua.
- 5) Disponer de extintores contra incendios y mangueras conectadas con las bocas de agua situadas en lugares estratégicos. Contar con piletas llenas de agua alrededor del taller.

6) Mantener separadas las mezclas que contenga clorato de potasio para separar las mezclas coloreadas de las que contengan azufre sin clorato de potasio.

A ciertas condiciones de temperatura los sulfatos, y el azufre pueden ser lentamente oxidados para dar ácido sulfúrico, el cual reacciona con el clorato de potasio, formando ácido clórico, peligrosamente activo y explosivo.

La separación anterior aplica también al artesano, vestidos y herramientas.

7) Toda mezcla de material finamente dividido, debe manejarse con cuidado, sobre todo si contienen metales muy divididos, que por su dureza son causa de fricción.

Evitar que el polvo se suspenda en el aire formando una nube, ya que por ejemplo: el polvo de carbón en el aire hace una violenta explosión cuando se incendia.

8) Evitar herramientas de acero para mezclar y cargar ingredientes. En su lugar se recomienda utilizar bronce, latón y plomo.

9) Manipular la menor cantidad de mezcla pirotécnica.

10) Los pirotécnicos no deberán usar zapatos que den chispas. Toda maquinaria metálica y partes móviles deberán estar conectadas a tierra para descargar la electricidad estática.

11) No utilizar cerillos en la zona de talleres.

12) Al hacer experimentos con nuevas composiciones, se deben emplear las menores cantidades posibles, porque el más ligero incidente es capaz de transformar una composición pirotécnica en un compuesto explosivo.

REGLAMENTACIÓN.

En base a la "Ley Federal de Armas de Fuego y Explosivos y su Reglamento" expedida por la legislación militar.

De acuerdo a los artículos 37, 38, 39 y 40; el control, vigilancia y operaciones de los artesanos mexicanos será hecha por la Secretaría de la Defensa Nacional. De acuerdo al artículo 14 es aplicable este reglamento para los juegos pirotécnicos debido al manejo de cloratos.

El artículo 45 establece que los talleres deberán reunir las condiciones de seguridad, funcionamiento técnico, ubicación y producción para otorgarles el permiso.

En cuanto al almacenamiento de los ingredientes pirotécnicos se tiene lo siguiente:

De acuerdo al artículo 66, solo los materiales que amparen permisos, podrán almacenarse hasta por cantidades y en locales autorizados.

Y de acuerdo al artículo 67, los materiales pirotécnicos deberán sujetarse a los requisitos, tablas de compatibilidad y distancia-cantidad que señale la Secretaría de la Defensa Nacional.

Del control y vigilancia: de acuerdo al artículo 72, la Secretaría de la Defensa Nacional, inspeccionará las condiciones de seguridad de los talleres, almacenes, polvorines y vehículos destinados a la pirotecnia comercial.

La Defensa Nacional obliga como parte de los requisitos para el manejo y producción de fuegos artificiales, la seguridad por compatibilidad de materiales

empacados o envasados, así la pólvora, los artículos pirotécnicos, los cloratos deben de almacenarse en forma individual o aislada, cada material en su propia bodega.

A continuación se da una tabla para seguridad por distancia-cantidad, para materiales pirotécnicos debidamente empacados.

DISTANCIA EN METROS-POLVORINES CON PROTECCIÓN

KILOS de: a:	EDIFICIO	VÍAS	CAMINOS	LÍNEAS DE	ENTRE
	HABITADO	FÉRREAS	CARRETEROS	ALTA TENSIÓN	POLVORÍN
000 500	100	100	100	50	35
500 1000	150	150	150	100	45
1000 5000	200	200	200	150	55
5000 10000	250	250	250	200	65

Tabla 28. Seguridad por distancia-cantidad para materiales pirotécnicos debidamente empacados.

ARTIFICIOS PIROTÉCNICOS.

La cantidad de artificios pirotécnicos que se pueden tener en existencia es de 50 g por cada metro cúbico de espacio libre en depósito de almacenamiento, en la inteligencia de que en los gramos mencionados están incluidos la mezcla explosiva y la

inerte, la capacidad total de seguridad será determinada según la ubicación de los depósitos y las dimensiones de los mismos.

Las dimensiones anteriormente indicadas, son para cuando los polvorines o depósitos, se encuentran protegidos por obstáculos naturales o artificiales, en caso contrario las distancias aumentan en un "100%".

Los talleres deben estar plenamente identificados como tales, indicando claramente su número de registro expedido por la Defensa Nacional. En las paredes exteriores se pinta el número de registro así como la razón social del taller e identificaciones preventivas de seguridad como el mensaje "no fumar", "peligro explosivos". Los talleres deben de tener una altura mínima de 3.5 metro.

El piso debe de ser de tierra y no de concreto. Los talleres deberán de estar provistos de ventanas de madera que estén sujetas con bisagras que dan poca resistencia a una posible explosión. Desde luego, se restringe el acceso a los talleres a toda persona ajena o menores de edad.

7.3 DISEÑO DE EQUIPOS UTILIZADOS EN LA CUANTIFICACIÓN DE LA LUZ AZUL ARTESANAL PIROTÉCNICA.

7.3.1 DISEÑO DEL ILUMINÓMETRO.

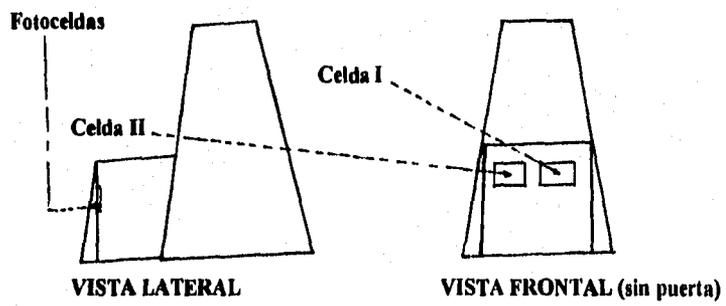
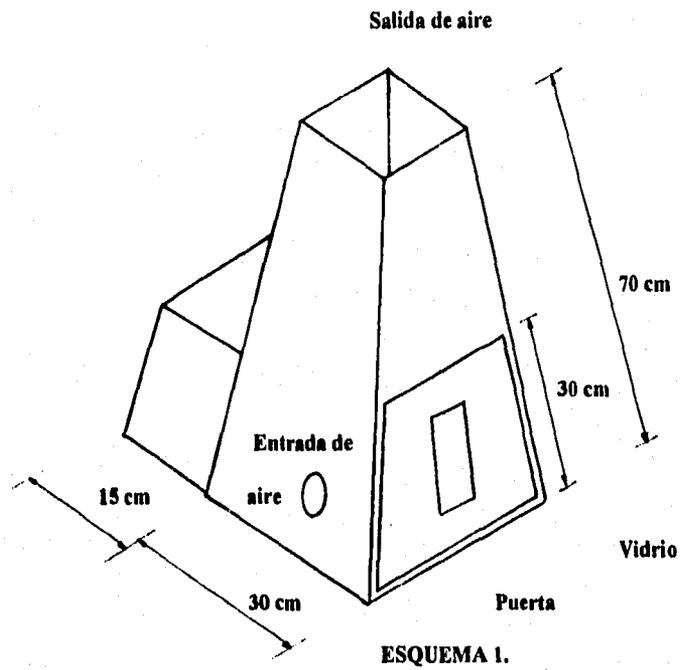
El diseño del iluminómetro surge de la necesidad de medir el voltaje captado por un par de fotoceldas para evitar interferencias que pudiesen dar resultados erróneos. Para tal finalidad se diseña una caja de madera provista de una salida de gases de combustión mediante una pequeña chimenea de tiro libre, pintada por dentro de color negro mate para evitar interferencia de los gases de combustión frente a las fotoceldas.

Mediante el esquema 1, se señalan las dimensiones del iluminómetro y colocación de las fotoceldas dentro del aparato.

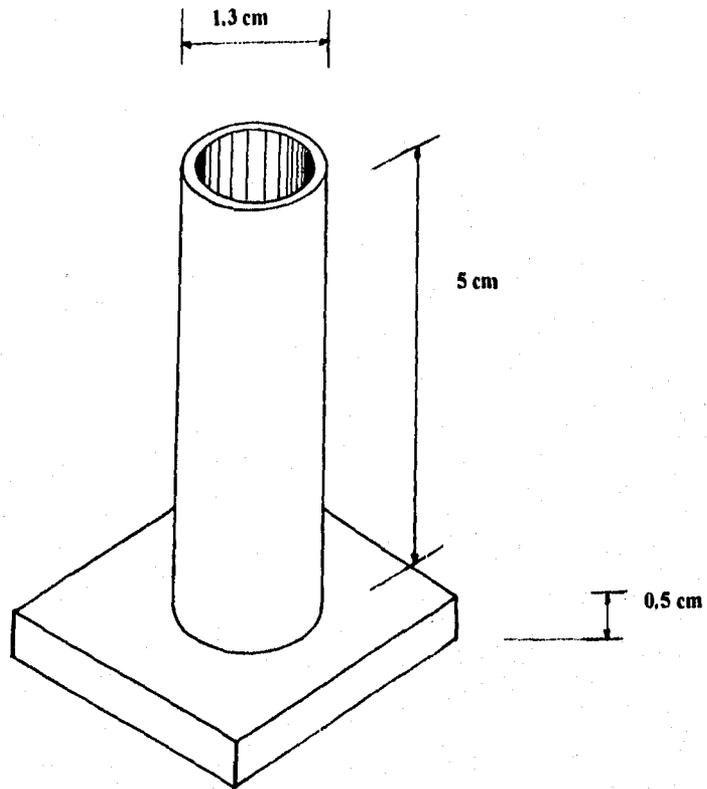
Esta provista de una puerta para introducir la bujía de papel, en dicha puerta esta colocado un vidrio (ISO 4850 SHADE Xir 12) para observar la combustión de la bujía.

Además se puede observar en el esquema 2 que a un lado del iluminómetro tiene un orificio cuya finalidad es hacer circular aire exterior hacia el interior de la cámara del iluminómetro. Se encuentra un portabujías metálico con sus dimensiones donde se coloca la bujía de papel.

ESQUEMA 1. DIMENSIONES DEL ILUMINÓMETRO.



ESQUEMA 2. PORTABUJÍA METALICO.



ESQUEMA 2.

7.3.2 DISEÑO DEL CARGADOR A PRESIÓN DE LA BUJÍA DE PAPEL.

El cargador a presión de la bujía de papel es un aparato provisto de dos partes:

a) Bomba de aire.

B) Pistón de aire.

A) Bomba de aire.

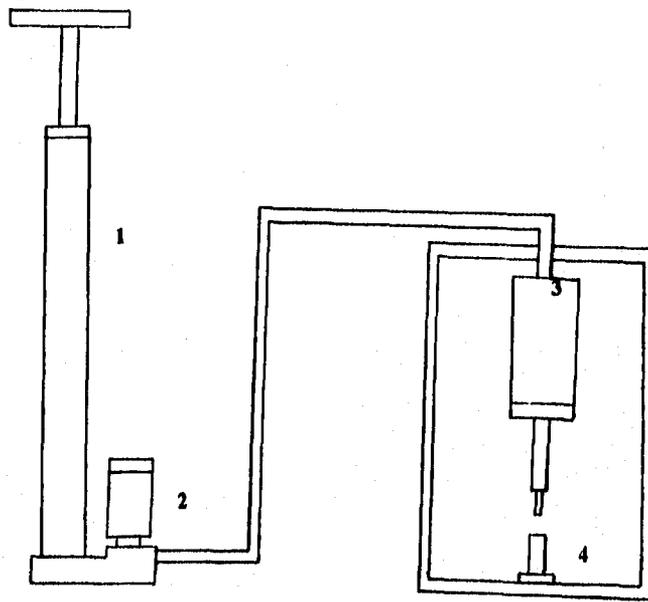
La bomba de aire es una bomba que comúnmente se utiliza para inflar llantas de automóvil que esta provista de un manómetro que cuantifica la presión hacia el pistón.

El rango de presión del manómetro es de 0- 10 kg/cm².

B) Pistón de aire.

El pistón de aire esta directamente conectado a la bomba de aire mediante una manguera, el pistón esta provisto de una varilla metálica que penetra dentro de la bujía de papel regulado a la presión que se desee. La bujía de papel se coloca dentro del portabujía metálico para soportar la presión deseada. El pistón esta soldado en una estructura metálica de tal forma que permanece en forma vertical.

La dimensión del cargador a presión se muestra en el esquema 3.

ESQUEMA 3. CARGADOR A PRESIÓN.**ESQUEMA 3.****Bomba de aire 1.****Manómetro 2.****Pistón 3.****Portabujía 4.**

7.3.3 ESPECIFICACIONES DE LOS REGISTRADORES DE MILIVOLTIOS.

Nombre del instrumento: Registrador.

Modelo y marca: Cole-Palmer instrument company.

Características: Entrada 0-1 mV, 0-10 mV, 0-100 mV, 0-1 V.

Velocidad: 0-40 cm/min.

7.3.4 ESPECIFICACIÓN DE LAS MALLAS MANEJADAS.

NO. MALLA	NO. ALAMBRE	DIÁMETRO (MM)	ABERTURA (MM)
42		0.420	
80		0.177	
140		0.105	
350	48.5	0.035	0.0430

Tabla 29. Especificación de las mallas.

Marca comercial de las mallas: ALSA MALLAS Y TAMICES.

DUVESA.

Metal de mallado: Latón.

7.4 CÁLCULOS RELACIONADOS CON LAS CARACTERÍSTICAS DE LA COMPOSICIÓN PIROTÉCNICA DE LA LUZ AZUL ARTESANAL.

7.4.1 CÁLCULO DE CORRECCIÓN DE LAS FOTOCELIDAS.

Las fotoceldas no dan exactamente la misma lectura por lo que se procedió a colocar una vela a una distancia de las fotoceldas de 18.5 cm (ver anexo 7.3.1 para el iluminómetro). A una escala de 0-10 mV del registrador se obtiene una diferencia entre las dos celdas de 0.067 mV en favor de la celda I.

Por lo que la celda II corregida es:

$$\text{Celda II corregida} = \text{celda II} + 0.067.$$

7.4.2 CÁLCULO DE LA CURVA DE CONVERSIÓN DE VOLTAJE A LUMINOSIDAD.

Con la finalidad de cuantificar la intensidad luminosa e interpretar las gráficas que arrojan el registrador de milivoltios es necesario realizar una curva de calibración tomando a la celda I (sin mica).

La curva de calibración consiste en cuantificar diferentes intensidades luminosas de focos comerciales. Cada foco especifica su potencia eléctrica que emite cada foco. Mediante la potencia eléctrica expresada en Watts se puede convertir dicha potencia en las unidades de bujías.

Resulta de la gráfica de calibración (grafica 17) anexada a este apartado los siguientes resultados:

De la celda I.

Potencia: 25 W corresponde un voltaje de 0.031 V, a una distancia de la fotocelda de 0.185 metros.

La conversión de Watts a bujías es la siguiente:

1 bujía = 1.1 Watts.

Sustituyendo los valores:

$1.1 * 25 \text{ Watts} = 27.5 \text{ bujías} = I$ donde I = intensidad luminosa.

Finalmente se calcula la iluminación producida que se expresa de la siguiente forma:

$$A = I / d^2.$$

Donde:

A= iluminación de una superficie.

I= intensidad de la fuente luminosa.

d= distancia.

Sustituyendo valores:

$$A = (27.5 \text{ bujías}) / (0.185\text{m})^2.$$

$$A = 803.5 \text{ bujías/cm}^2.$$

$$A = 803.5 (\text{bujías/cm}^2) * (1 \text{ m}^2 / 10000\text{cm}^2).$$

$$A = 0.0804 \text{ bujías/cm}^2.$$

Se procederá a realizar en forma similar los demás cálculos:

Potencia: 60 W corresponde un voltaje de 0,07 V, a una distancia de la fotocelda de 0,185 metros.

$$1,1 * 60 \text{ W} = 66 \text{ bujías} = I.$$

$$A = (66 \text{ bujías}) / (0,185\text{m})^2.$$

$$A = 1928,5 \text{ bujías/cm}^2.$$

$$A = 1928,5 \text{ (bujías/cm}^2) * (1 \text{ m}^2/10000\text{cm}^2).$$

$$A = 0,19285 \text{ bujías/cm}^2.$$

Potencia: 100 W corresponde un voltaje de 0,12 V, a una distancia de la fotocelda de 0,185 metros.

$$1,1 * 100 \text{ W} = 110 \text{ bujías} = I.$$

$$A = (110 \text{ bujías}) / (0,185\text{m})^2.$$

$$A = 3214 \text{ bujías/cm}^2.$$

$$A = 3214 \text{ (bujías/cm}^2) * (1 \text{ m}^2/10000\text{cm}^2).$$

$$A = 0,3214 \text{ bujías/cm}^2.$$

Con los resultados anteriores se obtiene la siguiente tabla:

POTENCIA (W)	VOLTAJE (V)	DISTANCIA (m)	INTENSIDAD LUMINOSA (bujía)	LUMINOSIDAD (bujía/cm ²)
25	0,031	0,185	27,5	0,08040
60	0,070	0,185	66,0	0,19285
100	0,120	0,185	110,0	0,32140

Tabla 30. Resultados de potencia contra luminosidad.

Luego se realiza una aplicación estadística sobre el comportamiento del voltaje contra luminosidad. Mediante una regresión lineal se obtuvo el siguiente resultado:

$$\text{Ordenada} = -0.0008 \text{ bujías/cm}^2.$$

$$\text{Pendiente} = 2.7016 \text{ bujías/(cm}^2 \cdot \text{V)}$$

$$\text{Correlación lineal} = 0.9995.$$

Por lo que la correlación lineal es aceptable. La ecuación de la línea recta es la siguiente:

$$A = -0.0008 + 2.7016 V.$$

Donde:

$$A = \text{luminosidad (bujías/cm}^2\text{)}.$$

$$V = \text{Voltaje (Voltios)}.$$

Debido a que las intensidades luminosas captadas por los trazadores manejan en general milivoltios, la ecuación de la línea recta se transforma de la siguiente forma:

Así que:

$$1 \text{ mV} \cdot (1 \text{ V}/1000 \text{ mV}) = 0.001 \text{ V.}$$

Quedando finalmente:

$$A = -0.0008 \text{ bujías/cm}^2 + [2.7016 (\text{bujía}/(\text{cm}^2 \cdot \text{V})) \cdot (0.001 \text{ V}/1 \text{ mV})] \cdot \text{mV.}$$

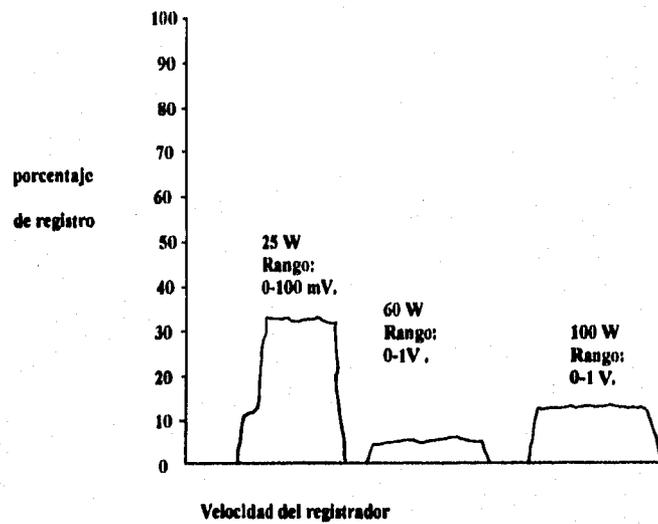
$$A = -0.0008 \text{ bujías/cm}^2 + [0.0027 \text{ bujías}/(\text{cm}^2 \cdot \text{mV})] \cdot \text{mV.}$$

Donde :

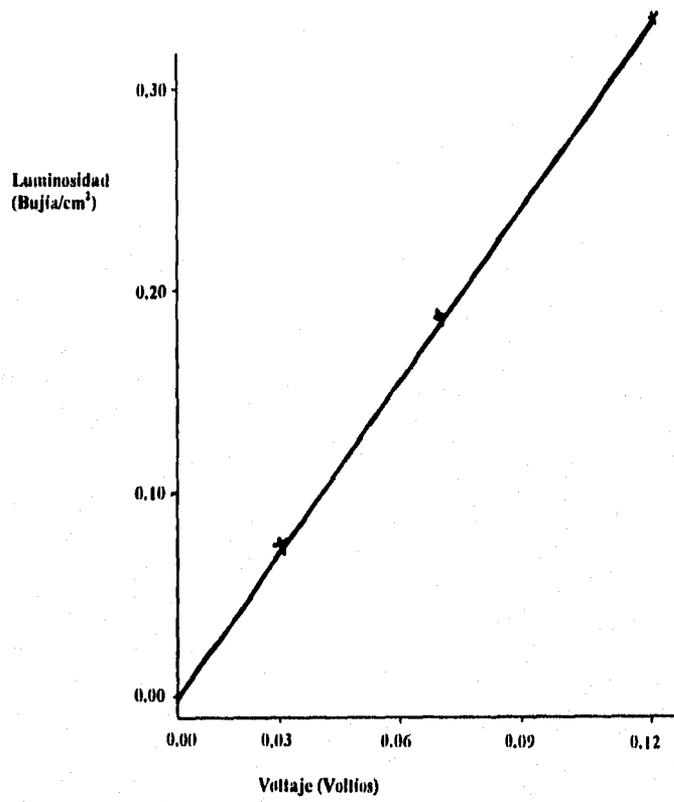
mV = es la variable independiente en milivoltios obtenida directo de la gráfica de los trazadores.

$$A = \text{Iluminación en bujías/cm}^2.$$

Gráfica 17. REGISTRO DE LAS INTENSIDADES LUMINOSAS EMITIDAS POR LOS DIFERENTES FOCOS.



**Gráfica 18. CURVA DE LA CONVERSIÓN DE VOLTAJE A LUMINOSIDAD
REFERIDO A LA TABLA 30.**



7.4.3 MEMORIA DE CÁLCULO PARA LAS CARACTERÍSTICAS DE LA LUZ AZUL ARTESANAL PIROTÉCNICA.

En este apartado se realiza un ejemplo de cálculo de las características de la luz azul pirotécnica artesanal enumerando cada uno de los pasos del cálculo mediante un número encerrado en un paréntesis en forma de superíndice.

Producto comercial sin contenido de azufre puro:

Contiene los siguientes ingredientes:

Clorato de potasio.

Goma laca.

Sulfato de cobre.

Carbón vegetal.

Peso de la bujía de papel:

Bujía de papel vacío = 2.0 g.

Bujía de papel lleno de mezcla reaccionante = 4.1 g.

CELDA I.

Mediante la gráfica del experimento 1 dada por el trazador se obtuvo la siguiente área: 163 mm^2 ⁽¹⁾ sobre una hoja milimétrica. La hoja que maneja el trazador tiene la siguiente equivalencia a milímetros:

$$5 \text{ mV} \cdot \text{cm} = 60 \text{ mm}^2.$$

Por lo que la hoja que maneja el registrador en las abscisas es en centímetros. La ordenada en milivoltios.

Se realiza la siguiente conversión:

$$(5 \text{ mV} \cdot \text{cm} / 60 \text{ mm}^2) \cdot (163 \text{ mm}^2) = 13.583 \text{ mV} \cdot \text{cm}$$
⁽²⁾.

De la gráfica del experimento 1 se obtiene como base de la área de la gráfica de 4.5 cm ⁽³⁾.

Dividiendo la área entre la base para fines de promedio queda:

$$13.583 \text{ mV} \cdot \text{cm} / 4.5 \text{ cm} = 3.0185 \text{ mV}$$
⁽⁴⁾.

1) Cálculo de la intensidad luminosa para la celda I.

Sustituyendo 3.0185 mV en la ecuación de conversión de voltaje a luminosidad:

$$A = -0.0008 \text{ bujías/cm}^2 + [0.0027 \text{ bujías}/(\text{cm}^2 \cdot \text{mV})] \cdot 3.0185 \text{ mV}.$$

$$A = 0.0073499 \text{ bujías/cm}^{2(5)}$$

La distancia entre la fotocelda y la bujía de papel es de 18.5 cm^2 , así que $d = 342.25 \text{ cm}^2$, así que la intensidad luminosa queda de la siguiente forma:

$$I = 0.0073499(\text{bujías/cm}^2) \cdot 342.25 \text{ cm}^2.$$

$$I = 2.5155 \text{ bujías}^{(6)}.$$

La intensidad luminosa del área de superficie ardiente (ILASA) es una forma de como se reportan las intensidades luminosas. La área de superficie ardiente es la área en la que se quema la composición, y dicha área es perpendicular a la longitud de la bujía de papel. Así que el área de superficie ardiente es de 0.7854 cm^2 (ver apéndice 7.5.1).

$$ILASA = I / 0.7854 \text{ cm}^2.$$

$$ILASA = 2.5155 \text{ bujías} / 0.7854 \text{ cm}^2.$$

$$ILASA = 3.20287 \text{ bujías/cm}^2.$$

CELDA II.

De la gráfica del experimento 1, la área = $106 \text{ mm}^{2(1)}$.

Se realiza la siguiente conversión:

$$(5 \text{ mV} \cdot \text{cm} / 60 \text{ mm}^2) \cdot (106 \text{ mm}^2) = 8.833 \text{ mV} \cdot \text{cm}^{(9)}.$$

De la gráfica del experimento 1 se obtiene como base de la área de la gráfica de $4.5 \text{ cm}^{(9)}$.

Dividiendo la área entre la base para fines de promedio queda:

$$8.833 \text{ mV} \cdot \text{cm} / 4.5 \text{ cm} = 1.9629 \text{ mV}^{(9)}$$

Ahora se le adiciona 0.067 mV por calibración del iluminómetro (ver apéndice 7.3.1) con respecto a la celda II.

$$\text{Adicionándolo queda } 1.9629 \text{ mV} + 0.067 \text{ mV} = 2.013 \text{ mV}^{(10)}$$

1) Cálculo de la intensidad luminosa para la celda II.

Sustituyendo 2.013 mV en la ecuación de conversión de voltaje a luminosidad:

$$A = -0.0008 \text{ bujías/cm}^2 + [0.0027 \text{ bujías}/(\text{cm}^2 \cdot \text{mV})] \cdot 2.013 \text{ mV}$$

$$A = 0.004635 \text{ bujías/cm}^{2(11)}$$

$$I = 0.004635 (\text{bujías/cm}^2) \cdot 342.25 \text{ cm}^2$$

$$I = 1.58633 \text{ bujías}^{(12)}$$

$$\text{ILASA} = I / 0.7854 \text{ cm}^2$$

$$\text{ILASA} = 1.58633 \text{ bujías} / 0.7854 \text{ cm}^2$$

$$\text{ILASA} = 2.019771 \text{ bujías/cm}^2$$

2) Índice de color.

Índice de color = (intensidad luminosa corregida de la celda II)/(intensidad luminosa de la celda I).

Índice de color = 1.58633 bujías/2.5155 bujías.

Índice de color = 0.63060⁽¹⁴⁾.

3) Velocidad de combustión.

La longitud de profundidad de la bujía de papel para verter la mezcla pirotécnica es de 2.4 cm.

La velocidad del trazador es de 10 cm/min.

La longitud de la base de la gráfica es de 4.5 cm.

El tiempo de combustión es:

$$(4.5 \text{ cm})(1 \text{ min}/10 \text{ cm}) = 0.45 \text{ min} * (60 \text{ seg}/1 \text{ min}) = 27 \text{ seg}^{(15)}.$$

La velocidad de combustión:

(La profundidad de la bujía)/(tiempo de combustión).

$$(2.4 \text{ cm}/0.45 \text{ min}) = 5.333 \text{ cm/min}^{(16)}.$$

4) La eficiencia de la reacción es la siguiente:

$$\text{EFI I} = (2.5155 \text{ bujía} * 27 \text{ seg}) / (2.1 \text{ g}).$$

$$\text{EFI I} = 32.3421 \text{ (bujía} * \text{seg/g}^{(17)}).$$

$$EFI II = (1.58633 \text{ bujía} \cdot 27 \text{ seg}) / (2.1 \text{ g}).$$

$$EFI II = (20.395 \text{ bujía} \cdot \text{seg/g})^{(17)}.$$

Donde:

EFI I = Eficiencia de la reacción de la celda I en (bujía*seg/g).

EFI II = Eficiencia de la reacción de la celda II en (bujía*seg/g).

La cantidad de mezcla gasta es de 2.1 g⁽¹⁸⁾.

A continuación se mostrará la tabla de todos los cálculos de acuerdo a la numeración indicada en el cálculo anterior.

TABLA 31. Cálculos de las características de la luz azul pirotécnica referidas al capítulo 6.

EXP.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
	F-1	F-2								
1	183	106	13.583	4.6	3.0185	0.00738	2.8155	3.20287	8.833	1.8829
2	181	94	12.8833	4.7	2.8773	0.00842	2.2002	2.80141	7.833	1.866
3	214	137	17.8300	4.8	3.7183	8.00823	3.1893	4.8226	11.418	2.3784
4	294	181	24.50	4.8	8.1041	0.01290	4.4428	8.8847	18.917	3.3189
6	285	188	21.25	4.0	6.3128	0.01384	4.8363	8.8016	13.187	3.2916
8	343	211	28.883	4.8	8.3518	0.01838	8.8987	7.1247	17.883	3.9874
7	333.6	218	27.7918	4.8	6.478	0.01887	8.4332	3.8177	18.1886	4.0370
8	327	213	27.25	4.8	8.085	0.01858	8.3218	8.7781	17.780	3.844
9	287	183	23.918	4.3	8.882	0.81421	4.8889	6.1984	18.28	3.8988
10	317	188	26.417	4.3	6.1434	0.01878	8.4031	8.8786	18.887	3.6434
11	314	192	28.187	4.4	8.847	0.01828	8.2218	8.8483	18.00	3.6383
12	290	184	24.187	4.4	8.4924	0.01402	4.8018	8.1138	18.334	3.4848
13	278	173	22.8	4.7	4.787	0.01212	4.1488	8.2838	14.4187	3.0878
14	290	188	24.18	4.8	8.2838	0.01338	4.8808	8.8328	18.4188	3.8814
16	284	178	23.87	4.4	8.3787	0.01372	4.8888	8.8788	14.8188	3.3001
16	128.6	68	10.708	1.7	8.288	0.01820	8.8488	7.0828	8.888	3.333
17	138	73	11.80	1.8	8.0828	0.01854	8.3182	8.7727	8.0833	3.2017
18	162	82	13.8	1.8	7.1083	0.01838	8.2818	8.011	8.8333	3.6888
19	103.8	63.8	8.828	1.8	4.7818	0.01213	1.1840	8.2891	4.4883	2.4788
20	129	68	10.78	1.7	8.3238	0.01827	8.8888	7.08143	8.4180	3.188
21	161	75	12.883	1.8	8.8807	0.01807	8.1081	7.0784	8.28	3.472
22	127	68.8	10.883	1.7	8.2288	0.0180	8.4780	8.8780	4.878	2.8878
23	108	47	8.78	1.7	8.147	0.01307	4.4824	8.7072	3.8188	2.3039
24	134	81.8	11.188	1.8	8.2037	0.01888	8.4888	8.8804	8.128	2.8472
26	147	71	12.28	1.8	8.8088	0.01787	8.0180	7.8888	8.8187	3.287

26	114	55	9.5	1.7	5.5882	6.01428	4.8901	6.2263	4.5833	2.6968
27	135	61	11.25	1.8	6.25	6.01607	5.5916	7.6649	5.6833	2.8246
28	112	61	9.333	1.8	5.185	0.01319	4.6175	8.5718	4.25	2.3811
29	138	61	11.187	1.7	5.5888	0.01693	5.7981	7.37681	6.08333	2.9802
30	157	77	13.683	1.8	7.2995	0.01892	6.4428	8.2033	6.4187	3.5048
31	144	66	12.00	1.6	8.3167	0.01825	5.8824	7.0823	5.68	2.8947
32	146	74	12.4167	1.8	6.5350	0.01584	6.1667	7.8618	8.197	3.2456
33	124	58.5	10.33	1.9	5.4386	0.01388	4.7519	6.0502	4.675	2.5667
34	135	62.5	11.25	1.6	6.25	0.01887	5.5616	7.0049	5.2083	2.8935
35	131.5	59	10.9583	1.8	6.0976	0.01563	5.3519	6.9143	4.9167	2.7314
36	129.6	62	10.7816	1.9	5.8798	0.01453	4.8747	6.3340	6.1687	2.7669
37	125	56.5	10.415	2.0	5.2083	0.61325	4.8390	5.7793	4.7693	2.3541
38	120	58	10.00	1.9	5.2631	0.01341	4.5897	5.8443	4.5830	2.4122
48	116	53	9.667	2.1	4.6031	8.01162	3.9789	6.0673	4.4166	2.10317
40	101	44	8.415	2.5	3.366	0.00829	2.83725	3.8124	3.687	1.4667
41	90	41	7.50	2.3	3.26086	0.00900	2.73948	3.48601	3.4166	1.4885
42	109	53	9.00	2.3	3.813	8.00976	3.34214	4.25534	4.416	1.92028
43	181	43.5	8.418	2.3	3.65942	8.00908	3.10777	3.9859	3.625	1.67608
44	88.5	29	5.7083	2.7	2.11419	8.00490	1.67980	2.13889	2.4166	8.89506
45	96.8	46.5	7.8683	2.3	3.4601	8.00854	2.9235	3.27747	3.875	1.60479
46	76.5	33.5	6.375	2.6	2.45192	8.00880	1.8916	2.5382	2.7916	1.07371
47	82.5	39.8	6.875	2.8	2.750	8.00825	2.2874	2.88894	3.28166	1.31567
48	186	43.5	8.833	2.3	3.84067	8.00868	3.27518	4.17088	3.825	1.87608
48	25	13.5	2.08333	2.3	0.90579	8.00164	0.86322	0.71711	1.125	0.48913
60	34.5	16.2	2.875	4.8	0.71875	0.00114	0.39037	0.48784	1.255	0.3166
81	312	186	26.00	4.6	8.68217	8.01446	4.84923	6.30124	1.8333	3.56072
82	332	221	27.87	4.3	6.43411	0.01867	6.8718	7.22154	1.84185	4.28295
83	324	181	27.00	4.7	6.74468	0.01471	6.03472	6.41038	1.89166	3.98682
84	331	194	27.683	4.5	6.12943	8.01878	6.38044	8.8613	1.8166	3.89258
85	329	180	27.416	4.7	8.8333	0.01495	6.11684	6.81469	1.800	3.19149
86	295	159	24.887	4.5	8.48148	8.01400	4.7915	8.19071	1.29187	2.87837
87	328	178	27.167	4.5	6.68972	8.01448	4.96621	6.31043	1.8833	3.09028
88	303	184	26.250	4.7	6.37234	8.01371	4.69088	6.87230	1.687	2.9078
89	277	187	23.083	4.5	6.12943	0.01305	4.46636	6.68674	1.3083	2.90741
90	331	217	27.580	4.5	6.74652	0.01471	6.03641	6.41264	16.083	3.75736
91	273	182	22.780	4.7	4.48042	6.01226	4.19809	6.34644	15.00	3.40425
92	233	152	18.4166	4.1	4.7357	0.01188	4.18237	5.23239	12.6666	3.08843
93	289	198	22.333	4.1	8.4471	0.01390	4.75877	6.66031	16.50	4.02439
94	813	350	4.275	6.3	0.57887	0.00103	0.35323	0.44975	2.91866	8.46298
95	478	327	3.96833	13	8.70684	0.00110	0.37938	0.48360	2.7280	0.48890
96	212.9	93.12	17.748	1.7	18.44	6.0274	9.395	7.38	6.827	4.075
97	209.2	78.75	17.44	1.7	18.259	0.0289	9.218	7.24	8.847	3.910
98	219.2	86.844	18.267	1.9	19.079	0.0266	9.116	7.16	7.237	4.021
99	279.1	117.2	23.26	4.6	4.8459	6.01228	4.2042	3.302	9.7726	2.0283
78	285.3	111.1	22.11	4.7	4.705	0.01190	4.074	3.20	9.2627	1.8708
71	274.6	114.8	22.99	4.7	4.8703	6.01238	4.227	3.32	9.8890	2.03596
72	230.8	199.5	21.288	4.8	11.3925	0.02276	7.7922	6.12	16.7918	3.80829
73	237.0	194.7	26.11	4.3	12.2481	0.02607	8.5816	6.74	16.23	3.77485
74	244.1	208.4	28.48	4.4	12.3295	0.02829	8.688	6.90	17.2047	3.81018
75	283.1	100.8	28.89	2.0	13.2962	0.0278	9.6482	7.58	8.3856	4.1933
76	257.8	100.9	27.15	2.1	12.83074	0.028613	9.0399	7.10	6.4155	4.0074
77	280.4	89.4	26.66	1.9	13.9814	8.02875	10.185	9.00	9.2693	4.3628
78	223.98	94.62	18.59	1.8	10.33	0.0271	8.294	7.30	7.052	3.619
79	225.12	83.02	18.75	1.7	11.037	0.0296	9.931	7.60	6.919	4.07
80	183.3	73.51	18.11	1.6	10.074	8.0284	9.039	7.10	8.126	3.829
81	249.82	74.62	20.8191	4.7	4.4296	0.01116	3.8197	3.80	6.2184	1.2955
82	266.21	82.83	20.8812	4.8	4.344	0.01093	3.743	2.84	9.9028	1.4381
83	272.97	88.75	22.748	4.7	4.840	0.01227	4.291	3.30	8.2282	1.7509
84	507.80	121.1	42.250	4.5	9.389	0.02455	8.403	6.60	10.692	2.1825
85	610.15	124.3	42.5128	4.4	9.652	8.02829	8.688	6.80	10.359	2.1583
88	498.64	118.5	41.5538	4.4	9.444	8.02470	8.454	6.84	9.9633	2.0757
97	269.9	198.92	22.493	2.1	10.711	0.02812	9.625	7.85	16.569	3.452
88	294.54	172.1	23.714	2.1	11.2928	0.02969	8.238	7.26	14.344	2.9885
89	269.72	183.1	21.644	2.6	10.8222	0.02842	6.727	7.64	15.268	3.1804

90	274.8	136.53	22.89	4.7	4.8707	8.01236	4.2271	3.32	11.37	2.42089
91	248.2	98.176	20.89	4.7	4.4022	8.011086	3.794	2.98	8.181	1.7407
92	261.6	130.53	21.79	4.8	4.94	0.01146	3.8216	3.08	10.878	2.2663
93	613.2	319.81	42.79	4.4	9.7207	0.02644	8.7689	6.84	26.826	6.05161
94	481.9	294.87	40.163	4.4	9.128	0.02384	8.1614	6.41	24.67	5.6848
96	468.8	281.99	39.07	4.3	9.0889	0.0237	8.1232	6.38	24.33	5.6548
96	268.8	139.98	21.67	2.1	10.2718	0.0269	9.2182	7.24	11.41	5.4369
97	267.8	149.80	21.02	2.1	10.8301	0.0279	9.6492	7.68	12.46	5.9367
98	263.2	131.19	21.20	2.0	10.8026	0.02792	9.6238	7.48	10.832	5.466
99	226.66	96.01	18.88	1.9	10.482	0.02752	9.4219	7.40	7.918	4.399
100	208.3	88.61	17.36	1.7	10.2188	0.02678	9.1873	7.20	7.384	4.344
101	218.1	87.99	19.28	1.8	10.1479	0.02869	1	7.15	7.304	4.058

Donde:

F-1 = Área bajo la curva de la lectura de la fotocelda I (sin mica de color).

F-2 = Área bajo la curva de la lectura de la fotocelda II (con mica de color).

TABLA J1. Continuación.

EXP.	18	11	12	13	14	15		16	17		18
						MIN.	SEG.		EFI I	EFI II	
1	2.913	0.004636	1.68633	2.019771	0.6306	0.46	27	6.330	32.34	20.39	2.1
2	1.716	0.003835	1.31282	1.87116	0.5896	0.47	28.2	6.106	20.20	16.28	2.2
3	2.428	8.008789	1.877829	2.60664	8.8236	0.48	28.8	6.0	41.36	26.79	2.3
4	3.368	0.008288	2.65861	3.61187	8.6384	0.48	28.8	6.0	66.63	36.52	2.3
6	3.341	8.008222	2.81416	3.88308	8.6071	0.40	24.8	6.0	68.68	36.82	1.9
8	3.978	8.008886	3.38314	4.30764	8.6046	0.46	27.0	6.33	68.97	41.52	2.2
7	4.087	8.010236	3.8828	4.48006	9.4447	0.46	27.0	6.33	69.85	46.07	2.1
8	3.984	8.00888	3.41736	4.3511	8.6421	0.46	27.8	6.33	66.31	41.84	2.2
9	3.696	8.008818	3.04864	3.8828	8.6287	0.43	26.8	6.681	68.78	37.46	2.1
10	3.693	0.009172	3.13818	3.96893	8.6809	0.43	26.9	6.681	63.36	38.81	2.2
11	3.698	6.009183	3.13287	3.96893	9.8999	0.44	26.4	6.464	66.64	39.38	2.1
12	3.634	9.008744	2.99286	3.81037	8.6232	0.44	26.4	6.464	67.61	36.91	2.2
13	3.117	0.007818	2.60688	3.111918	8.6281	0.47	28.2	6.106	68.61	36.76	2.0
14	3.401	0.008383	2.89839	3.86342	8.6283	0.46	27.9	6.127	83.21	39.59	2.0
16	3.440	9.008488	2.80816	3.88896	8.6186	0.44	28.4	6.464	68.04	36.91	2.1
18	3.383	0.008336	2.86268	3.83210	6.6142	0.425	26.6	6.647	70.72	36.37	2.6
17	3.281	9.007979	2.73106	3.4773	8.6134	0.476	28.8	6.626	88.90	38.37	2.2
19	3.646	6.008346	3.19881	4.9726	8.6083	0.476	26.6	6.926	89.66	46.87	2.0
19	2.626	0.008022	2.06118	2.824374	8.4881	0.46	27.8	6.333	63.40	26.80	2.1
20	3.236	0.007838	2.71879	3.4687	9.4877	0.426	26.6	6.3647	67.53	32.88	2.1
21	3.822	0.008708	2.88889	3.87661	8.4818	0.46	27.8	6.330	93.61	40.24	2.9
22	2.917	8.007077	2.42232	3.9842	8.4412	0.426	26.6	6.647	82.18	36.33	1.7
23	2.383	8.008486	1.89138	2.42093	8.4241	0.426	26.6	6.647	61.86	22.03	2.2
24	2.897	8.007022	2.40344	3.08018	8.4402	0.46	27.8	6.33	78.18	30.90	2.1
26	3.337	8.00821	2.80887	3.67763	8.4671	0.46	27.0	6.33	70.61	32.88	2.3
26	3.012	8.007336	2.61040	3.196337	8.4847	0.46	27.8	6.33	62.27	30.80	2.2
27	2.874	0.00880	2.38208	3.03292	8.4328	0.46	27.0	6.33	78.18	33.86	1.9
28	2.411	0.00871	1.88424	2.48821	8.4326	0.46	27.0	6.33	60.98	28.38	2.6
29	3.040	0.007408	2.8366	3.22838	8.4374	0.426	26.6	6.647	77.78	34.03	1.9
30	3.614	8.00886	3.08866	3.804466	8.4759	0.46	27.8	6.33	86.97	41.396	2.0
31	2.844	0.007160	2.44736	3.116066	8.4399	0.476	28.6	6.626	76.49	33.21	2.1
32	3.286	0.008098	2.77189	3.62889	8.4484	0.479	28.6	6.026	92.50	41.67	1.9
33	2.616	8.008262	2.14338	2.728037	8.4610	0.476	28.6	6.026	87.71	30.64	2.0
34	2.843	0.007147	2.448231	3.114631	8.4446	0.426	26.6	6.847	73.83	32.83	1.9
35	2.781	0.00871	2.28680	2.92399	8.4290	0.426	26.6	6.647	64.98	27.88	2.1
36	2.769	6.008771	2.28824	2.80866	8.4693	0.476	28.6	6.052	87.61	31.01	2.1
37	2.404	0.006881	1.84738	2.48004	8.4281	0.5	30	4.800	64.84	27.82	2.1
38	2.482	0.008848	2.00183	2.6484	8.4360	0.476	28.6	6.052	66.40	28.52	2.0
39	2.183	0.008013	1.71689	2.18474	8.4311	0.826	31.6	4.671	66.98	28.44	1.9
40	1.816	0.003280	1.12771	1.43684	8.3974	0.626	37.6	3.840	63.19	21.14	2.0
41	1.836	0.003346	1.146123	1.46801	8.4180	0.676	34.6	4.173	49.74	20.79	1.9
42	1.970	0.004619	1.64688	1.96866	8.4628	0.676	34.6	4.173	60.68	28.09	1.9

43	1.626	0.003590	1.22881	1.66457	0.3963	0.675	34.6	4.173	63.60	21.19	2.0
44	0.946	0.001761	0.8996	0.76331	8.3648	0.675	40.6	3.666	34.01	12.13	2.0
45	1.734	8.003883	1.32926	1.69247	8.4646	0.675	34.6	4.173	60.43	22.92	2.8
46	1.123	0.002340	0.76469	8.97351	0.3838	0.66	39.8	3.692	38.84	14.96	2.0
47	1.366	0.00289	8.96918	1.26936	8.4388	8.626	37.5	3.84	42.61	18.64	2.0
48	1.626	0.003690	1.22882	1.66466	8.3761	8.675	34.6	4.173	68.47	22.31	1.9
49	0.639	0.000666	0.22439	0.28671	0.3984	8.675	34.6	4.173	8.263	3.686	2.1
50	0.366	0.00019	0.66027	0.08279	0.1685	1.0	50.0	2.400	12.32	2.053	1.8
51	3.600	8.00892	3.06364	3.88788	0.6120	0.46	27.6	6.217	62.09	38.00	2.2
52	4.332	0.1096	3.73017	4.74938	0.6676	0.43	26.8	5.681	69.88	45.82	2.1
53	3.436	0.00848	2.90181	3.69469	0.6783	0.47	28.2	5.106	74.72	43.06	1.9
54	3.642	0.00904	3.09223	3.83714	0.6736	0.46	27.0	5.333	69.30	39.76	2.1
55	3.241	0.00786	2.72168	3.46821	0.6319	0.47	28.2	5.106	65.66	34.88	2.2
56	2.920	0.00709	2.42484	3.98740	0.6060	0.46	27.0	5.333	61.80	31.17	2.1
57	3.140	0.00769	2.62906	3.34613	0.6302	0.48	29.8	6.00	64.88	34.40	2.2
58	2.967	0.00718	2.46943	3.13144	0.6243	0.47	26.2	5.196	60.12	31.62	2.2
59	2.967	0.00718	2.46907	3.13897	0.6506	0.46	27.0	5.333	67.42	31.61	2.1
60	3.617	8.00960	3.2637	4.1427	0.6460	8.46	29.8	6.00	66.93	42.68	2.2
61	3.464	0.00862	2.91816	3.7186	8.6949	8.47	28.2	6.196	63.82	37.40	2.2
62	3.138	0.00787	2.627248	3.348189	8.6404	0.41	24.6	6.883	48.06	30.77	2.1
63	4.874	8.81020	3.46122	4.44816	0.7334	0.41	24.6	6.963	66.76	40.89	2.1
64	0.612	0.00066	0.260182	0.264976	0.6667	8.63	37.8	3.608	6.969	3.430	2.2
66	0.636	8.00064	0.222062	8.282724	0.6663	8.66	33.6	4.286	6.969	3.662	2.1
66	4.142	8.81036	3.664	2.792	0.3784	0.17	10.2	14.11	47.91	18.13	2.0
67	3.677	8.00994	3.403	2.873	0.3692	0.17	10.2	14.11	48.48	18.27	1.9
68	4.068	0.81024	3.606	2.763	0.3646	8.18	10.8	13.33	61.81	19.92	1.9
68	2.683	0.00482	1.660	1.904	8.396	8.48	29.8	6.00	60.64	23.81	2.1
70	2.037	8.04782	1.608	1.264	8.4023	8.47	28.2	8.10	67.44	23.10	2.0
71	2.182	0.00487	1.668	1.3114	8.3846	8.47	28.2	6.10	66.76	21.82	2.1
72	3.676	0.00686	3.031	2.396	0.369	8.46	27	6.33	106.19	40.92	2.8
73	3.841	0.00667	3.276	2.673	0.3619	0.43	29.8	6.68	110.7	42.26	2.8
74	3.877	0.00691	3.392	2.664	0.3618	0.44	26.4	6.46	120.3	47.13	1.9
76	4.280	8.01078	3.663	2.877	0.3636	8.20	12	12	64.66	28.93	2.1
76	4.074	8.81201	3.481	2.742	8.3982	8.21	12.8	11.429	66.86	21.90	2.0
77	4.429	0.01116	3.818	3.90	8.376	8.19	11.4	12.631	68.06	21.94	2.0
78	3.986	8.00896	3.411	2.879	0.3671	8.18	10.8	13.33	60.18	18.13	2.0
78	4.07	0.01037	3.66	2.796	8.3684	8.17	18.2	14.11	63.31	19.63	1.9
80	3.829	8.00972	3.329	2.816	0.3684	8.16	8.8	16	41.32	16.22	2.1
81	1.296	0.00267	0.8664	0.774	0.268	0.47	28.2	6.106	63.86	13.69	2.0
82	1.438	0.00326	1.1172	8.8775	0.2966	0.48	28.8	6.90	63.89	18.08	2.0
83	1.760	0.00410	1.4061	1.1044	0.3074	8.47	28.2	6.106	66.41	17.34	2.1
84	2.102	0.00606	1.731	1.3696	0.296	0.46	27.0	6.333	113.44	23.36	2.0
86	2.168	0.00620	1.782	1.4001	0.2069	0.44	26.4	6.464	106.84	22.41	2.1
86	2.076	0.00480	1.644	1.2914	0.1946	0.44	26.4	6.464	111.68	21.70	2.8
87	3.482	0.00670	2.878	2.339	0.3084	0.21	12.6	11.428	60.63	18.761	2.0
88	2.968	0.00745	2.660	2.002	0.27826	0.21	12.6	11.428	66.38	16.296	2.1
89	3.188	0.00796	2.727	2.142	8.28046	0.20	12	12.00	68.82	16.367	2.0
90	2.487	0.00681	2.0262	2.026	8.160	0.47	28.2	6.1	60.87	37.13	2.0
91	1.907	0.804081	1.397	1.778	0.697	0.47	28.2	6.1	66.31	33.81	1.9
92	2.333	0.0066	1.893	1.893	0.6146	0.48	20.8	6.0	67.14	41.27	2.1
93	6.118	0.01872	6.3818	4.227	0.818	0.44	26.4	6.46	114.96	71.04	2.0
94	6.661	0.01446	4.949	3.887	0.6065	8.44	28.4	6.46	113.40	68.77	1.8
96	6.726	0.01488	6.019	3.842	0.8180	0.43	26.8	6.66	99.76	61.66	2.1
96	6.602	0.01406	4.8115	3.779	0.6220	0.21	12.6	11.42	64.87	26.64	2.1
97	6.003	.01641	6.276	4.148	0.6626	0.21	12.6	11.42	60.16	33.23	2.0
90	6.633	0.01414	4.840	3.802	0.6083	0.20	12.0	12.00	67.14	29.84	2.0
99	4.466	0.01126	3.666	3.028	0.4092	0.18	10.8	13.33	36.06	16.67	2.1
100	4.411	0.81111	3.906	2.989	0.4182	0.17	10.2	14.11	49.21	26.43	1.9
101	4.126	0.01034	3.6408	2.761	0.3890	0.18	10.8	13.33	48.16	19.12	2.0

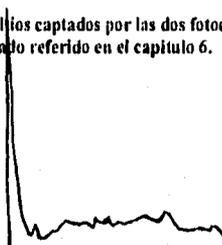
A continuación se muestran las lecturas emitidas por los registradores de millivoltios captados por las dos fotoceldas:

Gráfica 19. Lecturas emitidas por los registradores de milivolios captados por las dos fotoceldas enumeradas de acuerdo con el número de experimento realizado referido en el capítulo 6.

EXPERIMENTO 1.



Área: 106 mm².
Velocidad: 10 cm/min.



Área: 106 mm².
Velocidad: 10 cm/min.

EXPERIMENTO 2.



Área: 94 mm².
Velocidad: 10 cm/min.



Área: 151 mm².
Velocidad: 10 cm/min.

EXPERIMENTO 3.

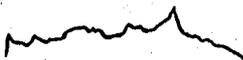


Área: 137 mm².
Velocidad: 10 cm/min.



Área: 214 mm².
Velocidad: 10 cm/min.

EXPERIMENTO 4.



Área: 191 mm².
Velocidad: 10 cm/min.



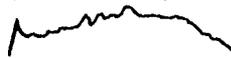
Área: 294 mm².
Velocidad: 10 cm/min.

EXPERIMENTO 5.

Área: 158 mm².
Velocidad: 10 cm/min.



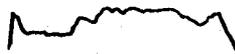
Área: 255 mm².
Velocidad: 10 cm/min.

EXPERIMENTO 6.

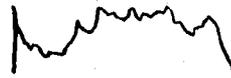
Área: 211 mm².
Velocidad: 10 cm/min.



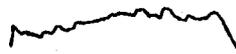
Área: 343 mm².
Velocidad: 10 cm/min.

EXPERIMENTO 7.

Área: 218 mm².
Velocidad: 10 cm/min.



Área: 333.5 mm².
Velocidad: 10 cm/min.

EXPERIMENTO 8.

Área: 213 mm².
Velocidad: 10 cm/min.



Área: 327 mm².
Velocidad: 10 cm/min.

EXPERIMENTO 9.

Área: 183 mm².
Velocidad: 10 cm/min.



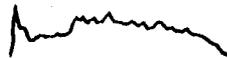
Área: 287 mm².
Velocidad: 10 cm/min.

EXPERIMENTO 10.

Área: 188 mm².
Velocidad: 10 cm/min.



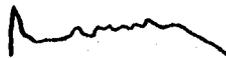
Área: 317 mm².
Velocidad: 10 cm/min.

EXPERIMENTO 11.

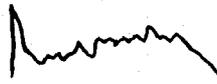
Área: 192 mm².
Velocidad: 10 cm/min.



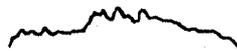
Área: 314 mm².
Velocidad: 10 cm/min.

EXPERIMENTO 12.

Área: 184 mm².
Velocidad: 10 cm/min.



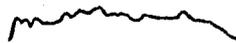
Área: 290 mm².
Velocidad: 10 cm/min.

EXPERIMENTO 13.

Área: 173 mm².
Velocidad: 10 cm/min.



Área: 270 mm².
Velocidad: 10 cm/min.

EXPERIMENTO 14.

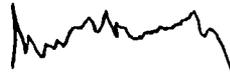
Área: 185 mm².
Velocidad: 10 cm/min.



Área: 290 mm².
Velocidad: 10 cm/min.

EXPERIMENTO 15.

Área: 179 mm².
Velocidad: 10 cm/min.



Área: 284 mm².
Velocidad: 10 cm/min.

EXPERIMENTO 16.

Área: 68 mm².
Velocidad: 4 cm/min.



Área: 128,5 mm².
Velocidad: 4 cm/min.

EXPERIMENTO 17.

Área: 73 mm².
Velocidad: 4 cm/min.



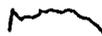
Área: 138 mm².
Velocidad: 4 cm/min.

EXPERIMENTO 18.

Área: 82 mm².
Velocidad: 4 cm/min.



Área: 162 mm².
Velocidad: 4 cm/min.

EXPERIMENTO 19.

Área: 53,5 mm².
Velocidad: 4 cm/min.



Área: 103,5 mm².
Velocidad: 4 cm/min.

EXPERIMENTO 20.

Área: 65 mm².
Velocidad: 4 cm/min.



Área: 129 mm².
Velocidad: 4 cm/min.

EXPERIMENTO 21.

Área: 75 mm².
Velocidad: 4 cm/min.



Área: 151 mm².
Velocidad: 4 cm/min.

EXPERIMENTO 22.

Área: 59.5 mm².
Velocidad: 4 cm/min.



Área: 127 mm².
Velocidad: 4 cm/min.

EXPERIMENTO 23.

Área: 47 mm².
Velocidad: 4 cm/min.



Área: 105 mm².
Velocidad: 4 cm/min.

EXPERIMENTO 24.

Área: 61.5 mm².
Velocidad: 4 cm/min.



Área: 134 mm².
Velocidad: 4 cm/min.

EXPERIMENTO 25.

Área: 71 mm².
Velocidad: 4 cm/min.



Área: 147 mm².
Velocidad: 4 cm/min.

EXPERIMENTO 26.

Área: 55 mm².
Velocidad: 4 cm/min.



Área: 114 mm².
Velocidad: 4 cm/min.

EXPERIMENTO 27.

Área: 61 mm².
Velocidad: 4 cm/min.



Área: 135 mm².
Velocidad: 4 cm/min.

EXPERIMENTO 28.

Área: 51 mm².
Velocidad: 4 cm/min.



Área: 112 mm².
Velocidad: 4 cm/min.

EXPERIMENTO 29.

Área: 61 mm².
Velocidad: 4 cm/min.



Área: 134 mm².
Velocidad: 4 cm/min.

EXPERIMENTO 30.

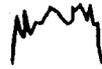
Área: 77 mm².
Velocidad: 4 cm/min.



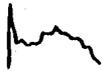
Área: 157 mm².
Velocidad: 4 cm/min.

EXPERIMENTO 31.

Área: 66 mm².
Velocidad: 4 cm/min.



Área: 124 mm².
Velocidad: 4 cm/min.

EXPERIMENTO 32.

Área: 74 mm².
Velocidad: 4 cm/min.



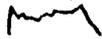
Área: 149 mm².
Velocidad: 4 cm/min.

EXPERIMENTO 33.

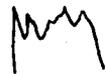
Área: 58,5 mm².
Velocidad: 4 cm/min.



Área: 124 mm².
Velocidad: 4 cm/min.

EXPERIMENTO 34.

Área: 62,5 mm².
Velocidad: 4 cm/min.



Área: 135 mm².
Velocidad: 4 cm/min.

EXPERIMENTO 35.

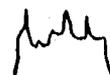
Área: 59 mm².
Velocidad: 4 cm/min.



Área: 131.5 mm².
Velocidad: 4 cm/min.

EXPERIMENTO 36.

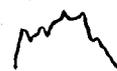
Área: 62 mm².
Velocidad: 4 cm/min.



Área: 129.5 mm².
Velocidad: 4 cm/min.

EXPERIMENTO 37.

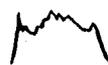
Área: 56.5 mm².
Velocidad: 4 cm/min.



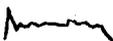
Área: 125 mm².
Velocidad: 4 cm/min.

EXPERIMENTO 38.

Área: 55 mm².
Velocidad: 4 cm/min.



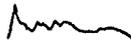
Área: 120 mm².
Velocidad: 4 cm/min.

EXPERIMENTO 39.

Área: 53 mm².
Velocidad: 4 cm/min.



Área: 116 mm².
Velocidad: 4 cm/min.

EXPERIMENTO 40.

Área: 44 mm².
Velocidad: 4 cm/min.



Área: 101 mm².
Velocidad: 4 cm/min.

EXPERIMENTO 41.

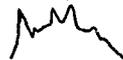
Área: 41 mm².
Velocidad: 4 cm/min.



Área: 90 mm².
Velocidad: 4 cm/min.

EXPERIMENTO 42.

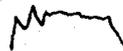
Área: 53 mm².
Velocidad: 4 cm/min.



Área: 100 mm².
Velocidad: 4 cm/min.

EXPERIMENTO 43.

Área: 43,5 mm².
Velocidad: 4 cm/min.



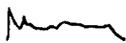
Área: 101 mm².
Velocidad: 4 cm/min.

EXPERIMENTO 44.

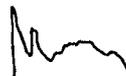
Área: 29 mm².
Velocidad: 4 cm/min.



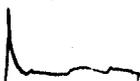
Área: 68,5 mm².
Velocidad: 4 cm/min.

EXPERIMENTO 45.

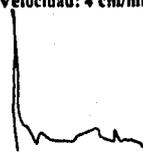
Área: 46.5 mm².
Velocidad: 4 cm/min.



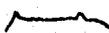
Área: 95.5 mm².
Velocidad: 4 cm/min.

EXPERIMENTO 46.

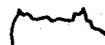
Área: 33.5 mm².
Velocidad: 4 cm/min.



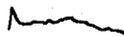
Área: 76.5 mm².
Velocidad: 4 cm/min.

EXPERIMENTO 47.

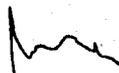
Área: 39.5 mm².
Velocidad: 4 cm/min.



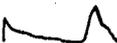
Área: 82.5 mm².
Velocidad: 4 cm/min.

EXPERIMENTO 48.

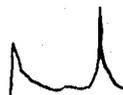
Área: 43.5 mm².
Velocidad: 4 cm/min.



Área: 106 mm².
Velocidad: 4 cm/min.

EXPERIMENTO 49.

Área: 13.5 mm².
Velocidad: 4 cm/min.



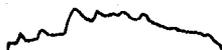
Área: 25 mm².
Velocidad: 4 cm/min.

EXPERIMENTO 50.

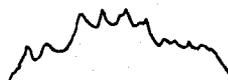
Área: 15.2 mm².
Velocidad: 4 cm/min.



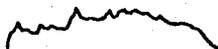
Área: 34.5 mm².
Velocidad: 4 cm/min.

EXPERIMENTO 51.

Área: 196 mm².
Velocidad: 10 cm/min.



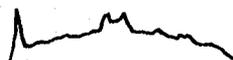
Área: 312 mm².
Velocidad: 10 cm/min.

EXPERIMENTO 52.

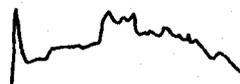
Área: 221 mm².
Velocidad: 10 cm/min.



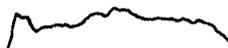
Área: 332 mm².
Velocidad: 10 cm/min.

EXPERIMENTO 53.

Área: 191 mm².
Velocidad: 10 cm/min.



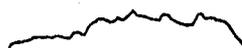
Área: 324 mm².
Velocidad: 10 cm/min.

EXPERIMENTO 54.

Área: 194 mm².
Velocidad: 10 cm/min.



Área: 331 mm².
Velocidad: 10 cm/min.

EXPERIMENTO 55.

Área: 180 mm².
Velocidad: 10 cm/min.



Área: 329 mm².
Velocidad: 10 cm/min.

EXPERIMENTO 56.

Área: 155 mm².
Velocidad: 10 cm/min.



Área: 296 mm².
Velocidad: 10 cm/min.

EXPERIMENTO 57.

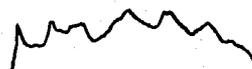
Área: 178 mm².
Velocidad: 10 cm/min.



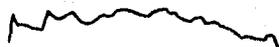
Área: 326 mm².
Velocidad: 10 cm/min.

EXPERIMENTO 58.

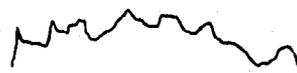
Área: 164 mm².
Velocidad: 10 cm/min.



Área: 303 mm².
Velocidad: 10 cm/min.

EXPERIMENTO 59.

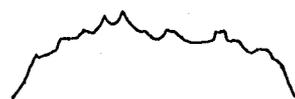
Área: 157 mm².
Velocidad: 10 cm/min.



Área: 277 mm².
Velocidad: 10 cm/min.

EXPERIMENTO 60.

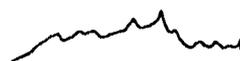
Área: 217 mm².
Velocidad: 10 cm/min.



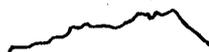
Área: 331 mm².
Velocidad: 10 cm/min.

EXPERIMENTO 61.

Área: 273 mm².
Velocidad: 10 cm/min.



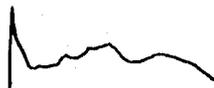
Área: 192 mm².
Velocidad: 10 cm/min.

EXPERIMENTO 62.

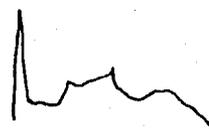
Área: 152 mm².
Velocidad: 10 cm/min.



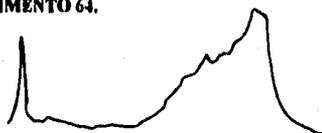
Área: 233 mm².
Velocidad: 10 cm/min.

EXPERIMENTO 63.

Área: 198 mm².
Velocidad: 10 cm/min.



Área: 268 mm².
Velocidad: 10 cm/min.

EXPERIMENTO 64.

Área: 350 mm².
Velocidad: 10 cm/min.

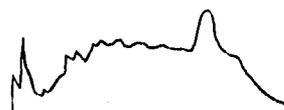


Área: 533 mm².
Velocidad: 10 cm/min.

EXPERIMENTO 65.



Área: 327 mm².
Velocidad: 10 cm/min.

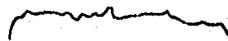


Área: 475 mm².
Velocidad: 10 cm/min.

EXPERIMENTO 66.



Área: 72 mm².
Velocidad: 10 cm/min.



Área: 167 mm².
Velocidad: 10 cm/min.

EXPERIMENTO 67.



Área: 71 mm².
Velocidad: 10 cm/min.



Área: 163 mm².
Velocidad: 10 cm/min.

EXPERIMENTO 68.



Área: 70 mm².
Velocidad: 10 cm/min.

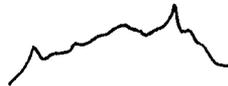


Área: 169 mm².
Velocidad: 10 cm/min.

EXPERIMENTO 69.



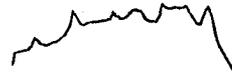
Área: 119 mm².
Velocidad: 10 cm/min.



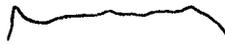
Área: 290 mm².
Velocidad: 10 cm/min.

EXPERIMENTO 70.

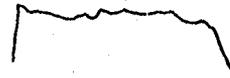
Área: 130 mm².
Velocidad: 10 cm/min.



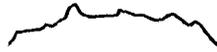
Área: 325 mm².
Velocidad: 10 cm/min.

EXPERIMENTO 71.

Área: 131 mm².
Velocidad: 10 cm/min.



Área: 321 mm².
Velocidad: 10 cm/min.

EXPERIMENTO 72.

Área: 141 mm².
Velocidad: 10 cm/min.



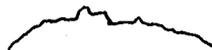
Área: 352 mm².
Velocidad: 10 cm/min.

EXPERIMENTO 73.

Área: 132 mm².
Velocidad: 10 cm/min.



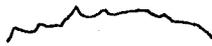
Área: 326 mm².
Velocidad: 10 cm/min.

EXPERIMENTO 74.

Área: 144 mm².
Velocidad: 10 cm/min.



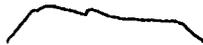
Área: 365 mm².
Velocidad: 10 cm/min.

EXPERIMENTO 75.

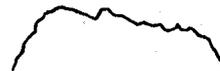
Área: 134 mm².
Velocidad: 10 cm/min.



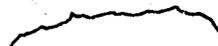
Área: 339 mm².
Velocidad: 10 cm/min.

EXPERIMENTO 76.

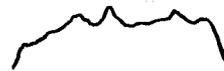
Área: 126 mm².
Velocidad: 10 cm/min.



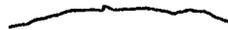
Área: 325 mm².
Velocidad: 10 cm/min.

EXPERIMENTO 77.

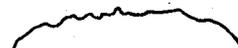
Área: 129 mm².
Velocidad: 10 cm/min.



Área: 321 mm².
Velocidad: 10 cm/min.

EXPERIMENTO 78.

Área: 48 mm².
Velocidad: 10 cm/min.



Área: 153 mm².
Velocidad: 10 cm/min.

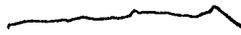
EXPERIMENTO 79.

Área: 52 mm².
Velocidad: 10 cm/min.



Área: 151 mm².
Velocidad: 10 cm/min.

EXPERIMENTO 80.

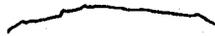


Área: 59 mm².
Velocidad: 10 cm/min.



Área: 167 mm².
Velocidad: 10 cm/min.

EXPERIMENTO 81.



Área: 75 mm².
Velocidad: 10 cm/min.



Área: 332 mm².
Velocidad: 10 cm/min.

EXPERIMENTO 82.

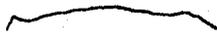


Área: 77 mm².
Velocidad: 10 cm/min.



Área: 328 mm².
Velocidad: 10 cm/min.

EXPERIMENTO 83.

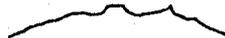


Área: 72 mm².
Velocidad: 10 cm/min.

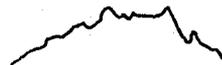


Área: 320 mm².
Velocidad: 10 cm/min.

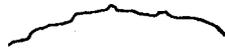
EXPERIMENTO 84.



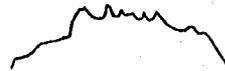
Área: 120 mm².
Velocidad: 10 cm/min.



Área: 355 mm².
Velocidad: 10 cm/min.

EXPERIMENTO 85.

Área: 104 mm².
Velocidad: 10 cm/min.



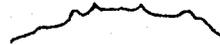
Área: 341 mm².
Velocidad: 10 cm/min.

EXPERIMENTO 86.

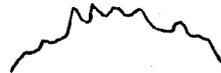
Área: 110 mm².
Velocidad: 10 cm/min.



Área: 350 mm².
Velocidad: 10 cm/min.

EXPERIMENTO 87.

Área: 135 mm².
Velocidad: 10 cm/min.



Área: 335 mm².
Velocidad: 10 cm/min.

EXPERIMENTO 88.

Área: 141 mm².
Velocidad: 10 cm/min.



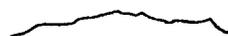
Área: 357 mm².
Velocidad: 10 cm/min.

EXPERIMENTO 89.

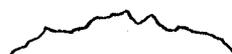
Área: 132 mm².
Velocidad: 10 cm/min.



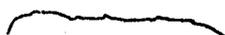
Área: 319 mm².
Velocidad: 10 cm/min.

EXPERIMENTO 90.

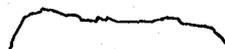
Área: 105 mm².
Velocidad: 10 cm/min.



Área: 168 mm².
Velocidad: 10 cm/min.

EXPERIMENTO 91.

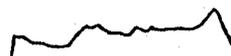
Área: 93 mm².
Velocidad: 10 cm/min.



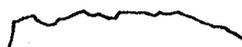
Área: 149 mm².
Velocidad: 10 cm/min.

EXPERIMENTO 92.

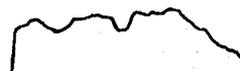
Área: 99 mm².
Velocidad: 10 cm/min.



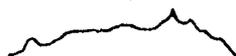
Área: 157 mm².
Velocidad: 10 cm/min.

EXPERIMENTO 93.

Área: 201 mm².
Velocidad: 10 cm/min.



Área: 322 mm².
Velocidad: 10 cm/min.

EXPERIMENTO 94.

Área: 186 mm².
Velocidad: 10 cm/min.



Área: 303 mm².
Velocidad: 10 cm/min.

EXPERIMENTO 95.

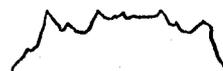
Área: 190 mm².
Velocidad: 10 cm/min.



Área: 202 mm².
Velocidad: 10 cm/min.

EXPERIMENTO 96.

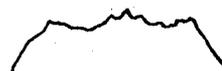
Área: 177 mm².
Velocidad: 10 cm/min.



Área: 333 mm².
Velocidad: 10 cm/min.

EXPERIMENTO 97.

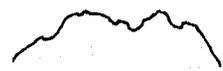
Área: 199 mm².
Velocidad: 10 cm/min.



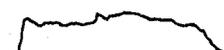
Área: 252 mm².
Velocidad: 10 cm/min.

EXPERIMENTO 98.

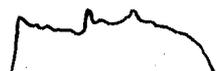
Área: 178 mm².
Velocidad: 10 cm/min.



Área: 343 mm².
Velocidad: 10 cm/min.

EXPERIMENTO 99.

Área: 141 mm².
Velocidad: 10 cm/min.



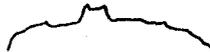
Área: 332 mm².
Velocidad: 10 cm/min.

EXPERIMENTO 100.

Área: 139 mm².
Velocidad: 10 cm/min.



Área: 323 mm².
Velocidad: 10 cm/min.

EXPERIMENTO 101.

Área: 131 mm².
Velocidad: 10 cm/min.



Área: 321 mm².
Velocidad: 10 cm/min.

7.5 CÁLCULOS SOBRE LOS FACTORES QUE AFECTAN A LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS COMPOSICIONES PIROTÉCNICAS DE LA LUZ AZUL ARTESANAL.

7.5.1 CÁLCULO DEL ÁREA DE SUPERFICIE ARDIENTE.

La área de superficie ardiente (definido en el capítulo IV) en la bujía de papel:

Diámetro exterior de la bujía de papel = 1 cm².

Fórmula del área de un círculo:

$$\text{Área} = 3.1416 \cdot (\text{diámetro})^2 / 4.$$

Sustituyendo:

$$\text{Área} = 3.1416 \cdot (1 \text{ cm})^2 / 4.$$

$$\text{Área} = 0.7854 \text{ cm}^2.$$

9.3.2 ESPECIFICACIONES SOBRE LA PUREZA DE LOS INGREDIENTES.

Los ingredientes utilizados son exactamente los manejados por pirótecnos de Tultepec, Estado de México. Son adquiridos por cantidades industriales, el pirótecnico ignora la pureza de los ingredientes trabajados pero se percata en forma cualitativa de dicha pureza, ya que al momento de realizar la combustión de la mezcla pirotécnica, el color y la intensidad luminosa cambia en forma clara, entonces el pirótecnico con la experiencia acumulada mediante prueba y error ajusta la mezcla hasta quedar satisfecho.

PUREZA DE LOS INGREDIENTES:

Clorato de potasio: 99 %.

Goma laca: no especificado.

Sulfato de cobre: 94-97 %.

Carbón vegetal: no especificado.

Acetato de cobre II= 97 %.

PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS.**a) Clorato de potasio.**

Es un compuesto de elevado potencial de oxidación con metales.

Formula: $KClO_3$.

Peso molecular: 123.40.

El clorato de potasio libera 16 kilocalorías/mol al descomponerse.

Propiedades:

Cristales incoloros transparentes o polvo blanco; sabor salino fresco, soluble en agua, álcali y alcohol, p.e. 2.337, p.f. 356 grados centígrados. Se descompone a unos 400 grados centígrados, desprendiendo oxígeno.

Obtención:

1) Electrolyzando una solución alcalina, concentrada y caliente, de cloruro de potasio.

2) Por interacción de solución de KCl y $NaClO_3$, o clorato calcio.

b) Sulfato de cobre:

Formula molecular: $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$.

Peso molecular: 249.7.

Propiedades:

Cristales azulados.

Polvo ligeramente efflorescente al aire.

Se hacen blancos cuando estan hidratados.

Es soluble en agua y metanol.

A temperatura de 110 grados centígrados pierde cuatro moléculas de agua, y la quinta molécula de agua a 150 grados centígrados.

c) Carbón vegetal.

Peso molecular: 12.01.

Se presenta como negro amorfo.

Su peso específico es de 1.8-2.1.

El punto de fusión es de más de 3500 grados centígrados.

El punto de ebullición es de 4200 grados centígrados.

Insoluble en agua fría y caliente.

d) Goma laca.

La goma laca es como su nombre lo indica es una laca. Se presenta en láminas; eliminado de impurezas naturales. Es producido por insectos que segregan la laca en arboles.

Propiedades físicas:

Densidad relativa: 1.143-1.207.

Peso molecular: 946-1100.

Energía de activación: 28.74 kilocal.

Propiedades químicas:

La laca esta compuesta principalmente por una mezcla de varios interésteres de ácidos carboxílicos polihidroxilados.

Calor específico: 0.35-0.76 cal/(g*°C).

e) Acetato cúprico.

Formula molecular: $\text{Cu}_2(\text{CH}_3\text{COO})_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$.

Peso molecular: 399.65.

Propiedades:

Polvo fino, azul verdoso; soluble en agua, alcohol y éter.

El p.e. es de 1.9; p.f. 115 grados centígrados, se descompone a 240 grados centígrados.

Obtención:

Por acción de ácido acético sobre oxido de cobre y cristalización.

VIII.- BIBLIOGRAFÍA.

- 1) Martínez, M. M., **La Pirotecnia, en El Arte Efímero en el Mundo Hispano, V Coloquio del Instituto de Investigaciones Estéticas**, UNAM, D.F., 1983.
- 2) Choppin, R. G., *Química*, Publicaciones Cultural, D. F. 1968.
- 3) Cruz, D., *Estructura Atómica un Enfoque Químico*, Addison-Wesley Iberoamericana, D.F., 1991.
- 4) Symons, W., **Pirotecnia**, *Enciclopedia Química Industrial Aplicada*, Kluny Marchino y Cia., Pan América, Buenos Aires, 1958.
- 5) Kirk-Othemer, *Enciclopedia de la Tecnología Química*, D.F., 1970.
- 6) Kuppers, H., *Fundamentos de la Teoría de los Colores*, 2a. ed., Gustavo Gili, Barcelona, 1974.

7) Arribas, V. J., Fernández, A. J., *El Arte del Fuego y La Pirotecnia*", *Arte efímero y espacio estético*. Antropos Editorial del hombre, Madrid, 1988.

8) Brock, A. St., *A History of Fireworks*, George G. Harrap, Londres, Sidney, Toronto, Bombay, 1949.

9) Farr, V. J., *La Pirotecnia Moderna; Tratado General de Fuegos Artificiales*, Glem, Buenos Aires, 1963.

10) *Ley Federal de Armas de Fuego y Explosivos, Reglamento de la Ley Federal de Armas de Fuego y Explosivos, Actualizada con Reformas y Adicionales*, Defensa Nacional, México, 1989.

11) Hiscox, H., *Recetas Industriales y Fórmulas Domésticas*, 2a. ed., GG, D.F., 1990.

12) Garriz, A., Chamizo, J.A., *Química*, Addison-Wesley Iberoamericana, D.F., 1994.

13) Steele, D., *Química de los Elementos Metálicos*, Addison-Wesley Iberoamérica, D.F., 1991.

14) Gray, H., *Electrones y Enlaces Químicos*, Reverte, D.F., 1978.

15) Glark, G., *Enciclopedia de Química*, Omega, Barcelona, 1964.

16) Levine, I., *Química Cuántica*, A.C., Madrid, 1977.

17) Dean, A.J., *Lange's Handbook of Chemistry*, 30a. ed., McGraw Hill, Washington, 1985.