

MATERIALES PARA LA FABRICACIÓN DE LAS PRÓTESIS OCULARES:
PMMA-VIDRIO- RESINA COMPUESTA EN LA ACTUALIDAD (2007-2018)

VICTORIA BOLÍVAR SUAREZ

JEISA GUARDO MOVILLA

LINEA DE INVESTIGACIÓN: BIOTECNOLOGIA OCULAR

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE
OPTÓMETRA

ASESOR METODOLÓGICO

DR. EDGAR VARGAS QUIROGA

ASESOR DISCIPLINAR

DRA. JARLEIDYS MOLINA QUINTERO

UNIVERSIDAD DEL SINÚ ELÍAS BECHARA ZAINÚM

SECCIONAL CARTAGENA

CARTAGENA

2018

Agradecimientos

“Primeramente le doy gracias a Dios por haberme permitido culminar esta etapa tan importante para mí, gracias a mis padres por haberme apoyado, especialmente a mi padre por ser ese amigo, buen ánimo, por esa comprensión y sobre todo por su voz de aliento, por instruirme para afrontar los retos de esta vida. Hoy que no está, quiero agradecerle por estar en mis años de formación y aunque no esté presente conmigo en este momento tan importante, en memoria de mi padre, este triunfo se lo dedico a él.” Victoria Bolivar S

“Quiero agradecer en primer lugar a Dios, por guiarme a lo largo de este camino, por darme las fueras necesarias para seguir adelante y nunca rendirme, así mismo quiero darle gracias a mis padres Antonio Guardo y Normal Movilla, a mis hermanas por haberme dado su apoyo y por haber estado conmigo en cada momento, por aportar ese gran amor y cariño que cada día me motivaron para seguir adelante y cumplir esta meta.

También quiero agradecer a mi asesora la Dra Jarleidys Molina, la cual estuvo conmigo desde el primer momento, ya que con cada una de sus palabras de aliento y sabiduría parte de este sueño ha sido posible. Gracias a mis compañeros ya que a lo largo de este tiempo creamos una amistad llena momentos y experiencias que quedaran guardadas en mi memoria para toda una vida”.
Jeisa Guardo M.

TABLA DE CONTENIDO

0.	INTRODUCCION	5
1.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	6
1.1.	PREGUNTA PROBLEMA	6
2.	OBJETIVOS	7
2.1.	OBJETIVO GENERAL	7
2.2.	OBJETIVOS ESPECIFICOS	7
3.	JUSTIFICACION	8
4.	MARCO TEORICO	9
4.1.	MARCO REFERENCIAL	9
4.1.1.	EL OJO HUMANO	9
4.1.2.	LAS PRÓTESIS OCULARES	9
4.1.3.	PROCEDIMIENTOS QUIRURGICOS	10
4.1.3.1.	EVISGERACIÓN	10
4.1.3.2.	ENUCLEACIÓN	10
4.1.3.3.	EXCENTERACIÓN	10
4.2.	ESTADO DEL ARTE	10
5.	MARCO NORMATIVO Y LEGAL	13
6.	METODOLOGIA	14
6.1.	TIPO DE BÚSQUEDA	14
6.2.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN	14
6.3.	ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	15
7.	PRÓTESIS OCULARES.	16
7.1.	TIPOS DE PRÓTESIS OCULARES.	17
7.2.	CASCARILLA	17
7.3.	PRÓTESIS DOBLES	18
7.4.	TIPOS DE MATERIALES DE LOS IMPLANTES OCULARES.	18
7.5.	HIDROXIAPATITA.	19
7.6.	SILICONA.	19
7.7.	IMPLANTE DE MEDPOR (POLIETILENO POROSO ALTA DENSIDAD)	20
8.	RESULTADOS	21
8.1.	TIPOS DE MATERIALES	21
8.1.1.	POLIMETILMETALCRILATRO. (PMMA).	21
8.1.2.	RESINA COMPUESTA (MATERIALES COMPUESTOS)	24

8.1.3.	PRÓTESIS DE VIDRIO.	25
8.2.	COMPARACIÓN DE LAS PRÓTESIS EN VIDRIO - PMMA – RESINA COMPUESTA.	26
8.3.	PROCESO DE FABRICACIÓN DE LAS PROTESIS EN PMMA	28
8.3.1.	TOMA DE IMPRESIÓN.	28
8.3.2.	MOLDE EN YESO.	29
8.3.3.	POLIMERIZACIÓN.	30
8.3.4.	PROCESO DE PINTURA DE LA PRÓTESIS.	30
8.3.5.	PULIDO Y ACABADO DE LA PRÓTESIS.	31
8.4.	IMPORTANCIA ESTÉTICA Y FUNCIONAL DE LAS PROTESIS OCULARES.	32
7.	DISCUSIÓN	33
8.	CONCLUSIÓN	34
9.	BIBLIOGRAFÍA	35

TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Resina acrílica estirenada	17
Ilustración 2 Prótesis de cascarilla	18
Ilustración 3 Prótesis de doble cascarilla	18
Ilustración 5 Estructura química del polietileno poroso de alta densidad.	21
Ilustración 6 Composición química del polimetilmetalcrilato	22
Ilustración 4 Estructura química de los componentes de la matriz de la resina	24
Ilustración 7 Flujo de líquido en la superficie del vidrio.	26
Ilustración 8 Prótesis oculares de plástico/ PMMA.	26
Ilustración 9 Toma de impresión de globo ocular	28
Ilustración 10 Molde de yeso.	28
Ilustración 11 Polimerización	29
Ilustración 12 Pintado de prótesis ocular.	30
Ilustración 13 Pulido y acabado de la prótesis ocular	30

1. INTRODUCCION

En la historia de la humanidad siempre ha habido malformaciones, accidentes y enfermedades que dejan la necesidad de sustituir un órgano o una parte del cuerpo humano. Cada caso resulta particular, con traumas psicológicos y emocionales; aquellos que tienen un impacto directo en la cara generan una afectación psicosocial grave en las personas, debido a la importancia que tiene esta parte del cuerpo en el proceso de establecer relaciones sociales, afectivas y de negocios.

Las prótesis oculares han evolucionado desde las civilizaciones romanas y egipcias en los métodos de fabricación y en los materiales utilizados para su composición; estos últimos reciben poca atención por la comunidad científica en tratar de abordar sobre los materiales que fueron utilizados junto con los manejados en la actualidad para la elaboración de las prótesis oculares [1].

Lo anterior, muestra la necesidad de conocer la composición de las prótesis oculares y la evolución que han tenido los materiales en busca de la eficiencia en los procesos de producción, junto con las ventajas y desventajas de los diferentes componentes utilizados para mejorar la calidad de vida de las personas afectadas por la pérdida del globo ocular.

Después de la eliminación del contenido ocular se debe restaurar el volumen del ojo a través de la adaptación de un implante ocular. Los primeros implantes se caracterizaban por estar realizados de materiales como vidrio, plástico, cartílago y silicona, que presentaban una excelente motilidad; pero estas producían complicaciones con mucha frecuencia y conducían a su remoción. Ya en los 90, se empezaron a introducir implantes elaborados a partir de hidroxiapatita y polietileno poroso que, además de mejorar la motilidad, ofrecen un mejor aspecto estético [2].

Firmas como AJL Ophthalmic siguen diseñado implantes con polietileno poroso de alta densidad, llamado Oculfit, un material Biocompatible, no tóxico ni alergénico, que tiene la ventaja de permitir el crecimiento de los tejidos dentro de él, debido a su estructura de poros abiertos interconectados [2].

En este sentido, hay que recalcar que para llevar a cabo una adaptación protésica con éxito, los materiales de fabricación tanto de los implantes como de las prótesis oculares son de suma importancia, ya que deben ser seleccionados para que beneficien la parte funcional y anatómica del ojo afectado del paciente, con el fin de una mejor adaptación, que brinde al paciente, comodidad, liviandad, economía y un mínimo de riesgos.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La organización mundial de la salud prevé que las enfermedades visuales lamentablemente aumentaran en los próximos años en todos los países del mundo [3]. En Colombia no existe información sobre la cantidad de personas usuarias de prótesis ocular y que se realizan un procedimiento quirúrgico como la evisceración o enucleación.

Ahora bien, existe un trabajo que realizó un estudio retrospectivo de 511 registros médicos de las prácticas especializadas de pacientes anoftálmicos en cuatro ciudades de Colombia, atendidos entre el 2011 y 2013; lo que permite conocer las causas más frecuentes para la pérdida del globo ocular. El estudio agrupó las causas de la pérdida del globo ocular en cuatro categorías o grupos etiológicos: por causas traumáticas, congénitas, patológicas y desconocidas.

En su análisis estadístico, el grupo investigador concluyó que la causa más frecuente de pérdida del globo ocular en estas ciudades son las de origen traumático con un total de 260 pacientes afectados, es decir aproximadamente el 51% de la población en estudio, seguida a esta causa se encuentran las de orígenes patológicos con un total de 209 casos, después con menos frecuencia encontraron las causas desconocidas con un total de 19 casos, las causas de tipo congénitos con un total de 23 casos analizados. Además, se pudo observar que son los hombres los que más sufren este tipo de discapacidad [4].

En este proceso resulta importante tener certeza del tipo de prótesis que se recomendará a los pacientes, teniendo en cuenta que en la actualidad existen diferentes prototipos de prótesis oculares en el mercado, como son las prótesis de cascarillas, dobles y oculopalpebrales debido a resultado de los avances científicos y tecnológicos que está teniendo la humanidad.

En la actualidad las empresas fabricantes de prótesis oculares se han enfrentado a diferentes retos como la movilidad, la estética de las prótesis oculares, el desarrollo de los tejidos del globo ocular, evitar las infecciones, entre otras. Por lo cual, no solo resulta interesante conocer las variedades de prototipos, sino la diversidad de materiales utilizados junto con sus ventajas y desventajas en la adaptación.

2.1. PREGUNTA PROBLEMA

¿Cuáles son los materiales utilizados para la fabricación de prótesis oculares en la actualidad, junto con sus ventajas y desventajas en el proceso de adaptación de los pacientes con pérdida del globo ocular?

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Analizar los materiales utilizados para la fabricación de prótesis oculares en la actualidad, junto con las ventajas y desventajas en el proceso de adaptación de los pacientes con pérdida del globo ocular; mediante una revisión bibliográfica entre el 2007 y el 2018.

3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Identificar las características físicas de los materiales utilizados en la fabricación de prótesis oculares en la actualidad.
- Comparar las ventajas y desventajas de los materiales para la fabricación de las prótesis oculares.
- Describir e identificar el proceso de fabricación de las prótesis oculares de acuerdo al material más utilizado.

4. JUSTIFICACION

Las prótesis oculares son un factor importante para los pacientes que han sufrido una enfermedad o traumatismo en el globo ocular, lo cual es relevante para los optómetras como para los investigadores que centran su atención en los temas que rodean a las prótesis oculares. Este último, es un instrumento que se ha utilizado para transformar la vida de las personas afectadas por pérdida del globo ocular y que deben recurrir a las prótesis como una corrección estética y anatómica.

Por lo tanto, la composición de las prótesis oculares resulta de gran importancia para los educadores en primera instancia, logrando que puedan enseñar las ventajas y desventajas de los materiales que completan la fórmula química de las prótesis en la actualidad. En segunda instancia, los profesionales de oftalmología y optometría requerirán la información para los casos atendidos en sus consultorios y entender las particularidades de los pacientes, realizando las recomendaciones más adecuadas.

En todo lo anterior, se refleja la importancia de una correcta revisión bibliográfica de las investigaciones, patentes y procesos, desarrollados en los últimos años persiguiendo el perfeccionamiento de las prótesis oculares y la búsqueda de materiales más livianos, carentes de transmitir infecciones y adaptables a los músculos que rodean el globo ocular dependiendo el procedimiento quirúrgico realizado.

Sin duda, este estudio resulta de suma importancia para los investigadores que desarrollaron el proceso de revisión, análisis y elaboración; el valor de esta monografía radica como primera medida en la puesta en práctica de los conocimientos adquiridos en los cursos de optometría, como también resultan importantes los nuevos conocimientos adquiridos de las investigaciones escrutadas.

Cabe resaltar, que la presente investigación deja un antecedente importante en los inicios del programa de optometría en la Universidad del Sinú, teniendo en cuenta de la poca información que se han desarrollado con respecto a las prótesis oculares, la relevancia del tema en los futuros colegas y la muestra de efectividad en la educación que posee la universidad para la construcción de investigaciones a la altura de la calidad institucional.

5. MARCO TEORICO

5.1. MARCO REFERENCIAL

5.1.1. *EL OJO HUMANO*

Es el órgano encargado del sentido de la visión, está formado por el globo ocular con su nervio óptico y ciertas estructuras anexas como parpados, aparato lagrimal y músculos extraoculares. Es un sistema óptico positivo o convergente que crea una imagen invertida del mundo exterior en la capa sensible de la retina, ubicada al fondo del globo ocular. Entre los elementos encargados de formar la imagen, se destacan la córnea que es el primer medio refringente, compuesta de cinco capas, a través de la cual la luz penetra en el interior del ojo. Siendo la retina la estructura donde llega los rayos de luz provenientes del infinito para formar la imagen [5].

En este sentido, es importante resaltar que el globo ocular es un órgano esferoidal, de unos 7,5 g de peso, con un diámetro anteroposterior de 24 mm en individuos normales, aunque esta longitud puede variar a 20 mm en pacientes hipermétropes y 30 mm en personas miopes [6]. Su diámetro vertical es de aproximadamente unos 23 mm, y el horizontal es de 23,5 mm. El volumen del globo ocular es de 7 cm³ y el de la órbita de 30 cm³ [7].

Moore y Dalley, dos profesores distinguidos en el área de la anatomía, definen el globo ocular como el aparato óptico del sistema visual; el cual ocupa la mayor parte de la porción anterior de la órbita, es decir; todas las estructuras anatómicas del interior del globo ocular. Conformado por tres capas y una capa de tejido conjuntivo laxo que esta alrededor de todo el globo ocular, la cual permite los movimientos dentro de la órbita. Esta capa de tejido conjuntivo laxo está formado por detrás de la fascia bulbar, la cual forma un bolsillo para el globo ocular, y por delante de la conjuntiva bulbar [8].

5.1.2. *LAS PRÓTESIS OCULARES*

En la salud, una prótesis es una extensión artificial que reemplaza una parte del cuerpo que hace falta. En ortopedia es entendida como un suplemento, en fin, las prótesis son típicamente utilizadas para reemplazar partes perdidas por defectos secundarios a lesiones patológicas, traumas o por anomalías congénitas [9].

Es este sentido, se define “la prótesis ocular como una modalidad de prótesis facial que va a reparar las pérdidas parciales o totales y deformaciones diversas del globo ocular. El efecto psicológico que produce en los pacientes la pérdida de uno o ambos globos oculares es devastador, por lo que buscan una pronta solución a esta problemática de manera rápida y con calidad” [10].

Dicho de otra manera, la prótesis ocular conocida como ojo artificial u ojo protésico es un dispositivo medico sobre medida para la salud visual y ocular que restaura estéticamente la pérdida total o parcial del globo ocular. Se caracteriza fundamentalmente por una superficie convexa donde se ilustran con exactitud todos aquellos detalles de la esclera, iris, pupila, cámara anterior y venas del ojo sano del paciente en tratamiento, también cuenta con una superficie cóncava diseñada como contra molde de toda la cavidad orbitaria. [11].

5.1.3. PROCEDIMIENTOS QUIRURGICOS

5.1.3.1.EVISCERACIÓN

La evisceración es un procedimiento quirúrgico ocular que consiste en la extracción de la córnea, iris, cristalino, vítreo y retina; dejando solo la esclera y los músculos oculares sujetos en la cavidad orbitaria. La extracción es menos agresiva y en principio, deberá originar menos problemas que la enucleación, debido a que se extrae el globo ocular, dejando únicamente los músculos extraoculares, quedando el globo ocular en su posición de origen [12].

Por otra parte, se debe tener en cuenta que los ojos ciegos o dolorosos no afectados de endoftalmitis séptica o de una neoplasia intraocular, salvo que sean ptísicos o microftálmicos, pueden ser tratados mediante su evisceración y la implantación de una prótesis. La evisceración implica la eliminación de todo el contenido intraocular, dejando sólo la túnica fibrosa, y posteriormente es llenado con un implante ocular del tamaño adecuado para el paciente. Los objetivos del procedimiento son eliminar el dolor producido por la enfermedad ocular y reducir la necesidad de una medicación tópica y sistemática durante largos periodos de tiempo [13].

5.1.3.2.ENUCLEACIÓN

Enuclear es remover completamente el globo ocular y parte del nervio óptico en lo cual se seccionan los 6 músculos extraoculares. La enucleación puede ser: simple y con implante. La simple consistente en seccionar los tendones de los músculos oculomotores y dejar como pequeñas partes de escleróticas para poder localizarlos más fácilmente durante la operación quirúrgica y lograr una mayor fijación al implante sin que se afecten las suturas, de forma que se fortalece su colocación y se mejora su movilidad. Una modificación de esta técnica es la denominada enucleación intraescleral Khalik (1997), que utiliza una especie de anillo escleral anterior con la persistencia de los músculos oculomotores [14].

La enucleación con implante se basa fundamentalmente en aprovechar la musculatura extrínseca para que los músculos, unidos entre sí y sujetos a un implante, puedan darle movimiento a este, de modo tal que la porción o el plano anterior, al moverse, transmita esa acción a la pieza protésica [14].

5.1.3.3.EXCENTERACIÓN

La excenteración orbitaria consiste en la extirpación de todo el ojo y el contenido orbitario, incluidos párpados, músculos extraoculares y grasa orbitaria, indicado para el tratamiento de cánceres y tumores que ponen en riesgo la vida del paciente. El cual se trata de un procedimiento radical y las alternativas de reconstrucción son bastante escasas, sólo se recurre a ella después que han fracasado todos los demás tratamientos [15].

5.2.ESTADO DEL ARTE

Las prótesis oculares han inspirado investigaciones científicas que vienen desde hace décadas informando sobre la evolución de los implantes y la calidad de los materiales utilizados para su elaboración a través de investigaciones y trabajos que nos permiten entender la importancia de la optometría y oftalmología en el transcurrir de la historia y la necesidad de las

prótesis oculares junto con el valor de los materiales con que son elaboradas, para permitir la estética, economía y confort de los pacientes.

A nivel nacional, en Colombia el Dr. Colombo P. en el año 2011 en la ciudad de Medellín, Colombia; realizó una investigación relacionada con las prótesis oculares estéticas y con los movimientos; la idea central era diseñar una superficie de apoyo deslizante (SAD) que facilite la movilidad de una prótesis ocular estética, alojada en la cavidad anoftálmica de un paciente [16].

Esta investigación es un ejemplo de los avances tecnológicos que se esperan en un futuro no muy lejano; el objetivo consistió en desarrollar un prototipo de prótesis relacionado con la punta de un lapicero; algo giratorio que le permitiera la movilidad al implante, sujetándolo a una montura de gafas de manera que con una superficie de apoyo deslizante, implantada delante de la prótesis, fuera posible tener una movilidad de la misma, aun teniendo en cuenta que el espesor del prototipo requiere ser minimizado para disminuir resistencia.

La investigadora Gómez Flórez en el 2012 desarrolló una indagación encaminada a identificar un método de fabricación de prótesis oculares con polimetilmetacrilato (PMMA) cual correspondiera a un proceso científico de fabricación en una fase exploratoria y una experimental en donde se pudieran describir los materiales, equipos para los procesos de toma de impresión, diseño estético y acabado. La autora, plantea por otra parte, que no existen investigaciones semejantes publicadas sobre la aplicación del PMMA a prótesis oculares [17].

Cevik, Dilber & Eraslan, plantearon en una investigación basada en técnicas diferentes en los que se pueden construir o elaborar una prótesis ocular en el 2015 a la medida con pacientes que presentan diferentes enfermedades en el ojo; la investigación plantea el caso de 3 pacientes. El primero le realizaron una enucleación del ojo debido a un accidente que tuvo 20 años atrás, un hombre de 45 años de edad con pérdida del ojo derecho; el segundo un paciente que perdió el ojo hace 10 años y no fue posible colocarle una prótesis ocular, cuenta con 81 años de edad. El tercer paciente un hombre de 78 años de edad, con pérdida del ojo derecho, el cual presentaba una prótesis en mal estado debido a 10 años de uso [18].

En el primer paciente la prótesis se procesó a través de polimerización de resina acrílica escleral (Imicryl, Konya, Turquía) bajo compresión posteriormente hirviendo en un tanque a 110 °C durante 20 minutos. Después del procesamiento, el matraz acrílico se enfrió y la prótesis fue retirada del molde. La curvatura de la esclerótica de la prótesis se redujo aproximadamente a 3 mm en la parte anterior y 1 mm en la parte posterior para la adaptación del iris y resina acrílica. Luego, para el diseño del iris, se utilizó papel fotográfico el cual fue adherido a la pieza escleral.

El segundo paciente se trató con una prótesis procesada en resina Acrílica odontológica a través de polimerización (Imicryl). Posterior a esto, se establecieron las características de la prótesis, como fueron el diseño de iris a base de un botón acrílico y la córnea siendo una capa transparente en acrílico, luego se realizó el acabado y pulido. El paciente fue instruido en la técnica de inserción, remoción e higiene de la prótesis.

Con el último paciente, la prótesis era definitiva, combinando la técnica del paciente número 1 y la técnica del paciente número 2, utilizando resina de acrílico de ortodoncia a través de polimerización; realizando el iris en papel fotográfico y posterior a esto agregar una capa de PVC para evitar que el color de la fotografía se deteriorara, se adecuó y se insertó a la base de acrílico para dar un acabado final.

En el año 2014 Gómez, E., realizó un estudio sobre el desarrollo de una prótesis ocular mecatrónica móvil. En donde su principal objetivo fue desarrollar sistemas mecánicos y electrónicos para resolver problemas como la movilidad y estética de las prótesis oculares [19].

En esta investigación se encontró un diseño que permitía el movimiento de la prótesis ocular, sin comprometer su apariencia estética y cuidando las dimensiones requeridas para que se adapte en la cavidad orbitaria. No obstante, durante el proceso se evidenció que este no fue capaz de proporcionar el movimiento adecuado al mecanismo unido a la prótesis.

A pesar, que la ejecución del prototipo no fue eficiente en su totalidad, este trabajo es de suma importancia para la presente investigación, ya que aporta una guía importante en cuanto a recolección de datos teóricos, además; suministra un camino nuevo para que otras investigaciones ahonden sobre la temática en estudio.

Por otro lado, Flórez M. y Rodríguez O. (2016) diseñaron una prótesis ocular para personas que presentan excentración. La idea central de la tesis era permitir que la prótesis elaborada imitara el movimiento del ojo natural sano del paciente, además de tener un aspecto estéticamente agradable [20].

Esta investigación dio como resultado el desarrollo de un prototipo de prótesis con un alto grado de libertad que se espera en un futuro pueda ser utilizada por personas que se les haya realizado excenteración. Aunque, el trabajo tuvo una gran dificultad en cuanto a la adaptación de movimientos del implante ocular relacionado con el ojo sano del paciente, el prototipo desarrollado no tiene una referencia para los movimientos, lo cual hace que tenga movimientos involuntarios con una velocidad máximo de 80 grados, el doble de un ojo natural.

La importancia de este trabajo se da porque profundiza de manera coherente y puntual, uno de los procedimientos quirúrgicos más comunes que se realizan a las personas que pierden su globo ocular, dependiendo de la causa. Además, implementa una parte tecnológica innovadora para el mejoramiento de esta compleja labor que tenemos los profesionales de la salud visual.

6. MARCO NORMATIVO Y LEGAL

El marco normativo de esta investigación está enfocado en la revisión de la Resolución 8430 de 1993, la cual nos muestra la posible existencia de riesgos en el desarrollo de trabajos investigativos en el área de la salud, esta investigación no tiene riesgo; en el artículo 11a se menciona que las investigaciones sin riesgo son aquellas en las que emplean métodos y técnicas en las que no hay intervención ni modificación de la biología, fisiología y psicología de los seres humanos que participen en el estudio como las revisiones de tema [21].

Asimismo, esta investigación cumple con los derechos de autor que la Ley 23 de 1982 menciona que los autores de obras artísticas, literarias y científicas tienen protección para sus escritos tales como libros, folletos, artículos, proyectos de investigación, entre otros [22]. Así como lo menciona la Constitución Política de Colombia en el artículo 61 en el cual dice que el estado protege la propiedad intelectual [23]. Por ello según la ley 44 de 1993 los autores de las investigaciones deberán ser inscritos en el Registro Nacional de Derechos de Autor, y quien no cumpla con esta ley, ya sea por medio de la publicación y reproducción del contenido sin autorización previa del autor o sin su respectiva referencia será condenado de 2 a 5 años de prisión o deberá pagar 20 salarios mínimos legales vigentes [24].

En la ley 599 del 2000, posteriormente reemplazado por el artículo 271 y 272 los cuales hacen alusión acerca de la violación a los derechos morales de autor en la cual se paga con prisión de 4 a 8 años o una multa de 26.66 a 1000 salarios mínimos legales vigentes [25].

Este trabajo está enmarcado dentro de la Ley 372 de 1997 artículo 4, literal i, por el cual se reglamenta la profesión de Optometría en Colombia y se dictan otras disposiciones como el diseño, ejecución y evaluación de políticas, planes, programas y proyectos de investigación conducentes a la generación, adaptación o transferencia de tecnologías que permitan aumentar la cobertura, la atención y el suministro de soluciones para el adecuado control y rehabilitación de la función visual. Por otro lado, en el numeral d, la ley establece como competencia del optómetra y el oftalmólogo, la fabricación, adaptación y control de prótesis oculares [26].

El decreto 1030 del 2007 el cual especifica que las prótesis oculares es un dispositivo médico para la salud visual y ocular, y reglamenta los laboratorios donde se elaboraran prótesis oculares en el territorio nacional. De esta manera, la resolución 4396 de 2008 la cual reglamenta los mínimos requisitos para la habilitación de los laboratorios que deseen fabricar estos elementos [27].

A pesar, de que existe leyes que apoyan el proceso de fabricación y de adaptación de las prótesis en Colombia, aún falta mucho más en pro de los beneficios de los usuarios de prótesis oculares, no solo en la parte política sino también investigativa y en educación, de hecho en Colombia no se cuentan con especialidades en esta rama de la optometría.

7. METODOLOGIA

Se realizó una revisión sistemática (artículos científicos, revistas indexadas, libros de prótesis ocular de editoriales internacionales) realizando una técnica exploratoria y analítica para la obtención de datos o información importante sobre los materiales utilizados en el proceso de fabricación de las prótesis oculares.

Esta sección se divide en 3 subtemas (Tipo de búsqueda, la organización y el análisis de la información).

7.1. TIPO DE BÚSQUEDA

La búsqueda de información primaria se encontró desde la exploración de diferentes buscadores en internet, mediante unos criterios de inclusión y exclusión, como también la lectura de libros que expusieran el tema “Prótesis oculares” de forma general y con las especificación de los materiales.

- Base de datos PubMed.
- Science Direct.
- Base de datos Scopus
- Buscador de Google Académico.

Criterios de Inclusión

- Artículos de revistas indexadas.
- Artículos publicados desde el 2007 al 2018.
- Artículos en idiomas inglés y español.

Criterios de Exclusión

- Artículos que tengan costo.
- Artículos con información incompleta.
- Artículos que tengan algún tipo de restricción.

7.2. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN

Posterior al encender el computador, se ingresa a navegador Google Chrome para tener acceso a los buscadores, tales como:

- PubMed
 - o Ingresamos a la búsqueda avanzada
 - o Colocamos los criterios de inclusión
 - o Ingresamos la palabra “Prótesis Ocular”
- Science Direct
 - o Ingresamos a la búsqueda avanzada
 - o Colocamos los criterios de inclusión
 - o Ingresamos la palabra “Prótesis Ocular”
- Google Académico
 - o Ingresamos a la búsqueda avanzada
 - o Colocamos los criterios de inclusión
 - o Ingresamos la palabra “Prótesis Ocular”

- Scopus
 - o Ingresamos a la búsqueda avanzada
 - o Colocamos los criterios de inclusión
 - o Ingresamos la palabra “Prótesis Ocular”

7.3. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Para el análisis de la información que se seleccionó, para la presente revisión bibliográfica, se leía detenidamente los artículos y se seleccionaron aquellos que estuvieran acorde con los criterios de inclusión y exclusión. Además, se buscaba una relación con la temática de estudio. Sin embargo, cabe destacar que la selección de la temática fue compleja en el sentido, que la información acerca de las prótesis oculares y sus materiales es escasa.

8. PRÓTESIS OCULARES.

Inicialmente la fabricación de prótesis oculares era un arte para la comunidad egipcia como era evidente en sus estatuas de las dinastías que hacían parte de su historia. Posteriormente, la elaboración de prótesis oculares entro a ser parte de la medicina; y sus inicios en este campo se dieron en Francia a mitad del siglo VXI donde se realizaron los primeros avances en procedimientos quirúrgicos y en efectos de adaptación de prótesis oculares, sin embargo, fueron los Alemanes los que implementaron las prótesis en vidrio, con una finalidad estética a los soldados que sufrían traumatismos en las diferentes confrontaciones ejecutadas por sus país los que les sometían este tipo de operaciones [28].

En este sentido, hay que conocer que, las prótesis oculares son dispositivos artificiales que reemplazan la ausencia de globo ocular y son un tratamiento para reintegrar a las personas en el entorno social, familiar y laboral sin discriminación y con igualdad. De ellas depende que el tratamiento quirúrgico realizado funcione y sea de gran importancia para su reivindicación.

Es este sentido, se define “la prótesis ocular como una modalidad de prótesis facial que va a reparar las pérdidas parciales o totales y deformaciones diversas del globo ocular. El efecto psicológico que produce en los pacientes la pérdida de uno o ambos globos oculares es devastador, por lo que buscan una pronta solución a esta problemática de manera rápida y con calidad” [29].

Dicho de otra manera, la prótesis ocular o conocida como aditamento, ojo artificial, ojo protésico es un dispositivo medico sobre medida para la salud visual y ocular que restaura estéticamente la pérdida total o parcial del globo ocular. Se caracteriza fundamentalmente por una superficie convexa donde se ilustran con exactitud todos aquellos detalles de la esclera, iris, pupila, cámara posterior y venas del ojo sano del paciente en tratamiento, también cuenta con una superficie cóncava diseñada como contra molde de toda la cavidad orbitaria. Felizzola 2014, establece que estas están fabricadas de materiales con características físicas, químicas y biológicas y mecánicas que al momento de su utilización no remiten ninguna reacción alérgica [11].

El procedimiento terapéutico con prótesis ocular no solo depende del médico sino también del paciente en turno, ya que este debe reconocer la dificultad que esto atañe, es decir, “La rehabilitación constituye una alternativa estética funcional y de alivio al trauma psicológico en los pacientes que presentan defectos intraorales o faciales causados por: neoplasias, traumas o alteraciones congénitas que provocan en ellos: desfiguraciones en los rostros, dificultades masticatorias, de dicción, deglución, fonación, control de la saliva así como múltiples problemas psíquicos. Cada prótesis a confeccionar posee características individuales que la hacen diferir del resto, dada la complejidad anatómica y funcional de los órganos y zonas que sustituyen: ojos, pabellones auriculares, apéndice nasal, paladar, huesos craneales. Los lineamientos técnicos generales de la prótesis Buco-Maxilofacial son los comunes a los establecidos en prótesis odontológicas y como principio fundamental de esta disciplina lo constituye la consulta multidisciplinaria, en la cual todos los integrantes aportan criterios importantes” [30].

En caso de excenteración, las prótesis oculofaciales que se utilizan para cubrir la cuenca tienen el problema de que el ojo protésico o es estático no se mueve y no hay parpadeo, pero es la única forma de reconstrucción posible para los pacientes que se les realizo el procedimiento de excenteración. Los avances en implantología han ocasionado que hoy en día las técnicas de

elección para las prótesis orbitarias sean materiales osteointegrados imantados, los cuales han demostrado ser el medio de rehabilitación óptimo en la cirugía craneofacial [31].

8.1. TIPOS DE PRÓTESIS OCULARES.

Existen diferentes formas de elaborar una prótesis ocular, sin embargo, todas cumplen la misma función, darle un efecto estético visual al paciente, que cumpla con las condiciones más parecidas posibles a el ojo que se encuentra en buen estado, en este sentido, es pertinente mencionar los diferentes tipos de prótesis oculares entre los cuales están, las cascarillas escleral, prótesis oculofaciales y las prótesis dobles. A continuación se describen y definen por su forma de fabricación.

8.2. CASCARILLA

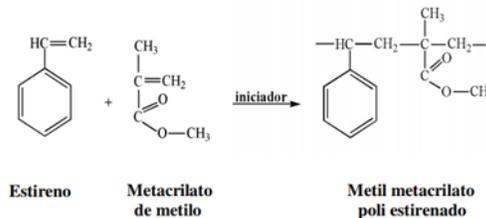
Las cascarillas esclerales (también denominadas cascarillas cosméticas) son parecidas a las prótesis oculares pero más delgadas. Tienen un grosor corneal menor a 3 milímetros.

Son generalmente recetadas en los pacientes que conservan su globo ocular con menor tamaño. Para la presencia de un ojo que no tiene visión y es de menor tamaño las razones pueden ser variadas: una enfermedad congénita o adquirida, un accidente o una microftalmia congénita. Las cascarillas esclerales son adaptadas sobre el globo ocular sin necesidad de intervención quirúrgica antepuesta. Para alcanzar una adaptación optima, en caso de una impresión del contorno del globo ocular, este procedimiento se realiza con un material llamado alginato, que permite la realización de una adaptación precisa, que brinda al afectado mayor confort, movilidad y estética en la elaboración [32].

Es decir, las cascarillas esclerales son prácticamente idénticas a las prótesis oculares, con la única diferencia de que están diseñadas para ser empleadas en pacientes que conservan su ojo, aunque sin visión y con mal aspecto estético. Actualmente se fabrican con el mismo material acrílico y sólo tienen como peculiaridad que su grosor debe ser lo más delgado posible [33].

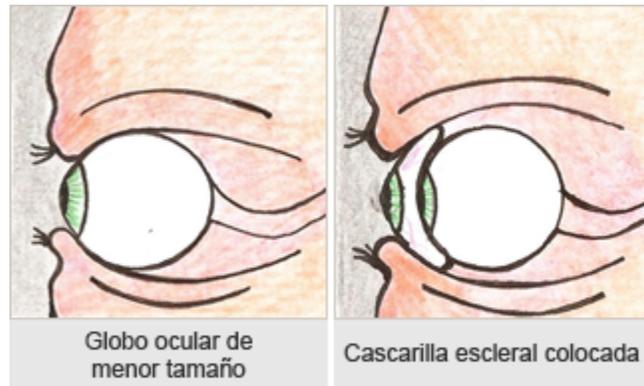
Este tipo de prótesis vienen elaboradas con diferentes materiales como: Polímero, peróxido de benzoilo, sales de cadmio y hierro, rellenos radiopacos; junto con líquidos como metacrilato de metilo, hidroquinona y el dimetil-paratoluidina. Todos estos son componentes necesarios para formar los implantes de cascarillas, que terminan estructurando la siguiente formula química:

Ilustración 1 Resina acrílica-estirenada



Fuente: Giudice C.A. & Pereyra A.M. *Protección de materiales* [34].

Ilustración 2 Prótesis de cascarilla



Fuente: Recuperado de <http://www.protesisocularesfoucault.com/cascarillas-esclerales.php>

8.3. PRÓTESIS DOBLES

Las prótesis dobles tienen mayor grosor que las cascarillas, siendo en su parte central, de espesor aproximado de 5 a 7 mm, mientras que las cascarillas tienen un espesor de 1 a 0.5 mm. En general, una prótesis ocular a la medida debe ser adaptada luego de que el oftalmólogo realiza una cirugía denominada enucleación o una cirugía denominada evisceración [32]

Está conformada por dos cascaras, utilizada generalmente para enucleación, con o sin implantes, tiene mayor tamaño la cascarilla que se encuentra en sentido horizontal que la vertical. Estas dos cascarillas, se conforman como anterior y posterior: la anterior es convexa, que constituye todas las funciones estéticas que asemejan un ojo sano, y la cara posterior es cóncava, dada por el implante que descansara sobre esta para imprimir motilidad a la prótesis. La cara cóncava da la modificación de la prótesis, dependiendo de la inclinación que se le haga, normalmente se hace a 45° en la porción temporal superior y hacia atrás. Esto se hace con el fin que se apoye en la órbita y evitar de esta manera el hundimiento de la prótesis en cavidades profundas o que no cuenten con implante [35].

Ilustración 3 Prótesis de doble cascarilla



Fuente: Recuperado de <https://www.sb-ocularservice.com/espa%C3%B1ol/pr%C3%B3tesis-oculares/tipos-de-pr%C3%B3tesis-oculares/>

8.4. TIPOS DE MATERIALES DE LOS IMPLANTES OCULARES.

Después de la eliminación del contenido del ojo, con frecuencia después de infecciones, traumas o glaucoma neovascular en etapa terminal, el contenido del saco escleral debía llenarse con un implante para reemplazar el volumen en la órbita (cavidad ósea que rodea el ojo) que era ocupado por el ojo, un implante ocular que mantiene el aspecto natural de la órbita y proporciona

soporte para el ojo artificial (prótesis ocular) [36]. Para la perfecta adaptación y comodidad del paciente es fundamental, un material que se adecue a las características anatómicas y de compatibilidad con el cuerpo humano. Por esta razón, se realiza un bosquejo de los principales materiales para los implantes oculares.

8.5. HIDROXIAPATITA.

La hidroxiapatita no es más que una sal inorgánica de fosfato de calcio y constituye una porción mineral primaria del tejido óseo y dental humano. El primero en concebir la idea de la hidroxiapatita como implante ocular fue el Dr. Perry en 1983 [37]. Es decir, es una sal de fosfato cálcico que se encuentra de forma natural como componente mineral del hueso humano. Se encuentra además en un tipo de coral que habita en los océanos Índico y Pacífico. El coral es tratado mediante una reacción hidrotermica que además de eliminar el componente orgánico y dejar todo un sistema de túneles perfectamente organizado, convierte el carbonato cálcico en sulfato. Así, la HAP, implantada dentro del cuerpo permite el crecimiento de tejido fibrovascular en sus cavidades internas sin crear una reacción a cuerpo extraño ni producir fenómenos de encapsulamiento por lo que hay menor riesgo de extrusión, migración e infección [38].

Composición química: $\text{Ca}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ Óxido con composición inferior al 1%: MgO, SumLaLu y SiO_2 [39].

Componente	%
CaO	52
P ₂ O ₅	35

Tanto en animales de experimentación como en humanos se ha demostrado que cuando la hidroxiapatita se implanta en contacto con el hueso normal, se produce nuevo crecimiento óseo en el interior de los poros de este material, y cuando se implanta dentro de tejido blando como en el caso de los implantes oculares, hay un crecimiento de tejido fibrovascular propio del huésped hacia el interior de los poros del implante. En virtud de esta integración con los tejidos oculares, el implante resiste la migración y extrusión que aparecían con los materiales antes usados [37].

Los implantes realizados con la hidroxiapatita están indicados para implantación orbitaria en procesos quirúrgicos de enucleación o como reemplazo del implante primario que tiene migración, extrusión o rotación. A su vez, son contraindicados traumatismos graves con posibilidad de infección orbitaria o retención de un cuerpo extraño, así como de infecciones orbitarias graves. Según Hernández AJ. Y colaboradores, las ventajas que tiene la hidroxiapatita teniendo como fundamento otras investigaciones son: Mayor movilidad de la prótesis ocular, reducción de la migración, reducción de la extrusión, resistencia a infecciones, elevada tolerancia al biomaterial no es tóxico ni alérgico y soporta el peso de la prótesis ocular minimizando la caída del párpado inferior. Además, puede utilizarse como injerto en cirugías y otros procedimientos de la medicina como lo es; la cirugía craneoencefálica, reconstrucción de oído medio, soporte laríngeo, reparación del suelo de la órbita, reconstrucción del sistema óseo dañado o perdido en periodoncia, ortopedia y traumatología [11].

8.6. SILICONA.

Los implantes con silicona se adhieren a la interface de la conjuntiva para crear el muñón que le proporcionara algún grado de motilidad a la prótesis ocular, se distribuyen en tamaños que

oscilan entre 12 y 20 mm, sin embargo; existe controversia en algunos autores con respecto a estas, una parte afirma que a mayor tamaño del implante en silicona en la cavidad ocular, este dará mejores resultados en cuanto a movimientos en el instrumento protésico recuperando el volumen ocular preoperatorio. Pero, otros autores consideran que estos tipos de tamaño son los que generan peligro al implante en el proceso postquirúrgico [40], causando su expulsión; lo cual es conocido como síndrome postnucleación.

Existe otra alternativa para el tratamiento del síndrome postnucleación como lo es el expansor de hidrogel, el cual fue descubierto en Rostock Alemania en el 1997. Este fue diseñado con el fin de agrandar la cavidad anoftálmica en niños que presentaban patologías congénitas. Dentro de sus características encontramos que presentan una alta y baja hidrofiliya de autollenado; debido a que son elaborados en copolímeros (metilmetacrilato y vinilpimolidone). Su consistencia es de apariencia dura ya que son sustancias hidrofílicas que al momento de aumentarles el volumen del agua se transformaban en gel, haciendo que la lagrimea penetre en el interior del reservorio por ósmosis, lo cual aumentaría su tamaño y expandiría los tejidos orbitarios [41].

Posterior a varios años de uso en Europa, Estados Unidos diseñó un nuevo expansor de hidrogel (Osmeed Combh), el cual está elaborado en un polímero hidrófilo que se expande por osmosis, cuya finalidad es agrandar progresivamente el volumen orbitario. Existen 2 tipos: uno hemisférico, diseñado para la expansión conjuntival, y el otro esférico para la expansión orbitaria.

En la actualidad existen variedad de materiales para la fabricación de prótesis oculares, no obstante, unos son más utilizados que otros, ya sea por la accesibilidad económica o por sus beneficios de adaptación clínica. En este sentido el presente apartado, establecerá los diferentes materiales para la elaboración de prótesis oculares en la actualidad. Proporcionaremos las diferentes opciones con las que se cuenta a la hora de la elección de materiales sustitutivos que se pueden utilizar para la reconstrucción de defectos faciales, para mejorar el resultado estético final, con la convicción que pueden utilizarse otros materiales y firmas comerciales, no recogidas por nosotros [41].

8.7. IMPLANTE DE MEDPOR (POLIETILENO POROSO ALTA DENSIDAD)

Se produce a partir de un polvo de polímeros de polietileno a baja presión mezclados y modelados. Puede modelarse cortándolo y ablandándolo en agua caliente, y los músculos oculares pueden suturarse directamente en el implante. Al tener una temperatura de fusión de 110 °C no puede esterilizarse en autoclave, debiéndose esterilizar con óxido de etileno. El Medpor es altamente poroso, está sujeto a anclaje con los tejidos blandos y es moderadamente osteoconductor. La incidencia de infección es baja y tiene una reacción de cuerpo extraño mínima con una cápsula peri protésica delgada. Es estable, no sufre reabsorción y la extrusión del implante es rara.

El Polietileno poroso de alta densidad es uno de los materiales más utilizados en cirugía cráneo-maxilofacial, como material de camuflaje en los déficits de los tejidos blandos postoncológicos o postraumáticos, en la reconstrucción del suelo y de la pared lateral de la órbita, de las estructuras óseas faciales, del mentón y de la nariz, así como en la reconstrucción de la oreja por graves quemaduras. En los implantes oculares este material es preferible a la hidroxiapatita porque ejerce un menor roce sobre los tejidos, con la consiguiente reducción del riesgo de extrusión, y también por su fácil, moldeo durante la intervención [42].

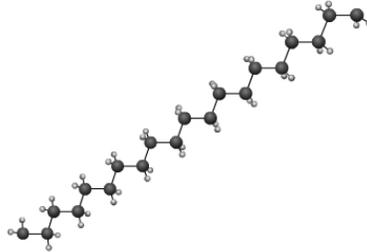
Composición química:

$(-\text{CH}_2-\text{CH}_2-)_n$

Materias primas:

HDPE, high-density-poly-Ethylene, polietileno rígido.

Ilustración 4 Estructura química del polietileno poroso de alta densidad.



Fuente: Recuperado de <http://www.ub.edu/cmmaterials/es/content/polietileno-de-alta-densidad>

El HDPE posee un grado de ramificación bajo, entre 1 y 10 ramas por cada 1000 átomos de carbono. Estas ramificaciones tienen cadenas cortas.

La elevada cristalización que tiene este elemento debido a su poca ramificación, y por tanto hay poca distancia entre macromoléculas vecinas haciendo que tenga una elevada densidad y resistencia que le da el nombre high-density-poly-Ethylene. Se trata de un plástico con elevada dureza, pero tiene una baja resistencia al impacto y a la elongación [43].

Además, es una alternativa más económica que la hidroxiapatita, la forma en que más se colocan estos implantes es la esférica, aunque hace un reducido tiempo se vienen colocando cónicos, se ha diseñado una nueva forma de unión de la prótesis al implante, utilizando un tornillo de titanio colocado en la superficie anterior del implante de Medpor a través de la conjuntiva. Es decir, este implante es de tipo expuesto, puesto que una parte se proyecta a través de la conjuntiva [9].

9. RESULTADOS

9.1. TIPOS DE MATERIALES

9.1.1. POLIMETILMETALCRILATO. (PMMA).

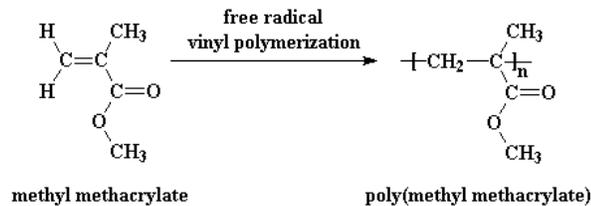
Polímero sintético en forma de micro esferas de 30 a 40 μm de diámetros, suspendidas en gel de colágeno. Una vez inyectado, el vehículo se absorbe y las micro esferas son encapsuladas, siendo resistente a la degradación y fagocitosis. Ha sido usado con éxito en reemplazo articular, cirugía de cataratas, procedimiento dentales y procedimientos microquirúrgicos. En las prótesis oculares es el principal material, por sus características y su fácil manipulación. Posee un bajo riesgo de presentar reacciones adversas complejas como la formación de granulomas y rechazo, siendo difícil de remover [44]

Composición química: $(-\text{CH}_2-\text{C}[(\text{CO}-\text{OCH}_3)(\text{CH}_3)]_n$

Materias primas:

Metacrilato de metilo; acetocianhidrina y metanol; ácido cianhídrico y acetona.

Ilustración 5 Composición química del polimetilmetacrilato



Fuente: Universidad de Barcelona. Esqueleto físico-químico del polimetilmetacrilato [45].

El PMMA tiene un esqueleto idéntico al resto de poli olefinas, pero los grupos éster que cuelgan de ella dan al polímero un carácter polar diferente. Tiene un elevado peso molecular.

“los polímeros sintéticos presentan una variedad casi infinita de combinaciones moleculares y características físico-químicas, Los polímeros son macromoléculas formadas por la unión de moléculas más simples (monómeros) durante el proceso de polimerización. Los polímeros pueden ser homopolímeros, obtenidos por unión entre sí de varias moléculas iguales (monómero) o pueden ser copolímeros, obtenidos por la unión de moléculas de dos o más monómeros distintos. La longitud de la cadena, los monómeros que la componen y los grupos funcionales libres que presenten, aportarán las características físico-químicas del polímero. Esta versatilidad en cuanto a su composición hace que estos materiales plásticos puedan tener propiedades muy diferentes, por lo que en la actualidad la mayoría de las prótesis están formadas por ellos. Así, por ejemplo, los polímeros acrílicos están formados por monómeros derivados del ácido acrílico, un derivado del propileno” Torivio García [33]

Existe una gran variedad de compuestos derivados de este acrílico y se puede clasificar teniendo en cuenta su polaridad: algunos como el hidroxietilmetacrilato, el fenilmetacrilato, o el polifenilacrilato presentan características hidrofílicas y se han usado ampliamente para la fabricación de LIO y de LC. Por el contrario otros como el PMMA, o el polifenilmetacrilato (polímero de las lentes acrílicas hidrofóbicas Acrysoft) tienen características hidrofóbicas (Belmonte, 2008). Al contrario que los polímeros acrílicos, que están formados por cadenas de enlaces carbónicos, la silicona, y los compuestos derivados de ella, están formados por cadenas poliméricas de enlaces alternantes de oxígeno y silicio, de las cuales dependen radicales hidrófobos [33]

En la fabricación de prótesis oculares la materia prima es el polimetilmetacrilato o PMMA conocido comercialmente como lucite o plexiglás; este material polímero es ampliamente utilizado por su transparencia, estabilidad química al calor y notables propiedades ante el envejecimiento, por lo que encuentra aplicación en la confección de prótesis, cementos y selladores dentales, así como lentes de contacto rígidos, keratoprótesis e implantes orbitarios entre otras aplicaciones. Para los fines de esta revisión de tema, se menciona su aplicación como material base en la fabricación de prótesis oculares [28].

El PMMA fue descubierto en Alemania en el año 1902 por los químicos alemanes Otto Röhm y Walter Bauer quienes lo utilizaron para la creación de un plástico en láminas transparentes denominado inicialmente “Plexiglás” quien en 1936 la compañía Kulzer patentó dicho material (patente DRP 737058). Quien con el desarrollo de estas laminas ha sido las

primeras y más extendidas formulaciones a nivel comercial para ser empleadas para dicho polímero (Fernández Villa, 2010). Es un polímero termoplástico altamente transparente que se obtiene de la polimerización del monómero metilmetacrilato. Debido a su transparencia, estética y resistencia a ser rayado, el PMMA se puede considerar como una alternativa ligera al cristal. A veces, también se le llama cristal acrílico. Se puede usar el PMMA como alternativa al policarbonato (PC) si se necesita mayor transparencia, resistencia UV o a los rayados y si las altas propiedades contra impactos no son cruciales para la aplicación. Rohm and Haas Company fabricó el PMMA por primera vez en 1933. Las marcas principales de PMMA son Altuglas, Plexiglas y Diakon. El PMMA es el polímero preferido de muchas aplicaciones en los sectores de la automoción, la iluminación, la construcción, la cosmética y la medicina.

9.1.1.1. CARACTERÍSTICAS POLIMETILMETACRILATO (PMMA)

DEL

Las características principales del PMMA son las siguientes:

- Propiedades ópticas excepcionales.
- Transparencia y acabado brillante.
- Rigidez y estabilidad dimensional.
- Dureza y resistencia al rayado.
- Excelente resistencia a los rayos del sol (radiación ultravioleta) y al envejecimiento por las condiciones meteorológicas.
- Impacto modificado.
- Apto para estar en contacto con los alimentos.
- Apto para aplicaciones médicas.
- Transparente UV.
- Resistencia química mejorada.
- Resistente a la esterilización gamma.
- Superficie mate y deslustrada (Resinex , 2018).

En cuanto a su estructura y propiedades este es un material transparente de muy buena calidad óptica (92% de transmisión y un 2% de turbidez), a lo largo de todo el rango visible, y de baja absorción UV, hasta llegar a 260 nm de longitud de onda, Otras importantes propiedades que tiene el PMMA es que tiene gran facilidad de mecanización y moldeo; entre otras cosas posee una Alta resistencia al impacto, de 10 a 20 veces más que el vidrio [46]

Fonn, y colaboradores (2011) exponen que las prótesis oculares fabricadas en Polimetilmetacrilato modificado, son las más comercializadas a nivel internacional, por los magníficos resultados que ha dado el éter modificado y su biocompatibilidad con los tejidos humano. Se caracteriza por tener un peso liviano, buena tolerancia, dureza, seguridad, fácil de pulir y de obtener brillo casi que natural y es resistente a modificación que ayuden y faciliten el proceso de adaptación de los pacientes [11].

El procedimiento para la fabricación del PMMA consiste en mezclar el polímero y el monómero, dejando que el monómero reaccione físicamente con el polímero en un recipiente cerrado, hasta el punto en que alcance su consistencia adecuada, luego se coloca en una mufla de vulcanizar y se calienta.

Preparación de la cámara de moldeo:

- Envaselinar las paredes internas de la mufla

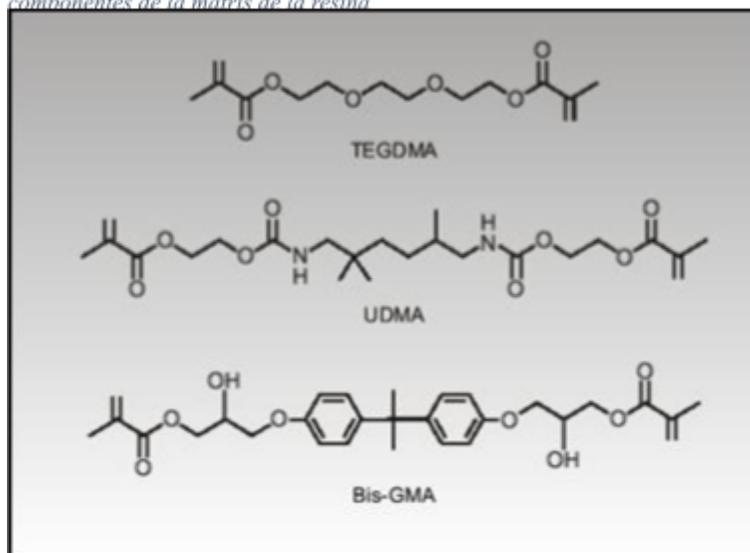
- Llenar $\frac{3}{4}$ con yeso
- Aislar el yeso con la vaselina
- Pincelar la cera con debublizer
- Poner yeso de piedra en la cera

Posterior a esto se obtiene una mezcla de resina Compuesta por alginato de Na, fosfato de Na, glicerina, alcohol y agua que puede ser utilizada para la elaboración de las prótesis oculares [47].

9.1.2. RESINA COMPUESTA (MATERIALES COMPUESTOS)

Las resinas compuestas, se entienden como una mezcla complicada de resinas polimerizables mezcladas con partículas de rellenos inorgánicos, como el cuarzo, discilato de vidrio y zirconita estos componentes pueden ser de dos tipos: los de cohesión y los de refuerzos. Según Anusavice [13], las resinas compuestas son mezclas tridimensionales en donde deben estar involucrado por lo menos dos materiales químicamente diferentes, con una interface distinta, obteniéndose propiedades superiores a las que presenta en cada uno de sus componentes de manera individual.

*Ilustración SEQ Ilustración * ARABIC 6 Estructura química de los componentes de la matriz de la resina*



Fuente: Filtek

Para unir las partículas de relleno a la matriz plástica de resina, el relleno es recubierto con silano, un agente de conexión o acoplamiento. Otros aditivos se incluyen en la formulación para facilitar la polimerización, ajustar la viscosidad y mejorar la opacidad radiográfica [14].

Las resinas compuestas pueden ser alteradas para lograr color, translucidez y opacidad de esa forma alcanzar el color de los dientes naturales y de las prótesis oculares desarrolladas, haciendo de ellas el material más estético de restauración directa. Inicialmente, las resinas compuestas se indicaban solo para la restauración estética del sector anterior (en el área de odontología). Gracias a los avances de los materiales, su uso se extendió a la elaboración de

prótesis oculares; reconociendo sus propiedades tales como la resistencia al desgaste, manipulación y estética debido a que se puede modificar su color haciéndolo similar al del ojo contralateral [15].

La combinación de las propiedades del poliestireno y su facilidad de tratamiento (moldeo por inyección y por extrusión) hace de él termoplásticos muy útil, por su excelente estabilidad térmica no deformable, elevada resistencia a la flexión y a la tracción y buenas propiedades eléctricas. [48]

Para la fabricación de resinas y polímeros de poliestireno se aplica un método discontinuo, que utiliza una combinación de procedimientos de polimerización en masa y en suspensión. El monómero de estireno, o mezclas de monómero, se purifican por destilación o lavado con sosa cáustica, para eliminar inhibidores. Las materias purificadas se cargan en unión de un iniciador (generalmente del tipo de peróxidos), en recipientes de polimerización, de acero inoxidable o de aluminio, que están provistos de camisas para su calentamiento y refrigeración y de agitadores. La polimerización del monómero se realiza a unos 90°C hasta aproximadamente el 30% de conversión; en esta fase, la masa de reacción tiene la consistencia de jarabe. El agua se utiliza únicamente como agente de intercambio térmico, por lo que no entra en contacto con el producto y puede recircularse. [48]

El polímero o masa parcialmente polimerizada se transfiere a los reactores de polimerización por suspensión, conteniendo agua y agentes de suspensión y dispersión que pueden ser celulosa de metilo o de etilo, ácidos poliacrílicos, alcohol polivinílico y muchos otros materiales que se encuentren en forma natural tales como gelatina, almidones, gomas, caseína y alginatos. La masa melíflua se descompone en gotitas, por la acción del agitador, y se mantiene en suspensión en la fase acuosa. Después de completar la polimerización, la suspensión polimérica se envía a un depósito o tanque de extracción, en el que se separa cualquier residuo o monómero que no haya reaccionado. La masa separada se centrifuga y el polímero producido se filtra, se lava y se le extrae el agua. [48]

9.1.3. PRÓTESIS DE VIDRIO.

La prótesis ocular de vidrio representa un elemento facial sustitutivo para pacientes que han perdido un ojo natural. La prótesis se elabora individualmente y se inserta en la órbita ocular. Es un producto médico no invasivo según la ley MPG (Ley alemana sobre productos sanitarios) y de clasificación I (regla 1) y se cataloga un producto a medida. Por sus propiedades, compatibilidad y procedimiento de adaptación, las mismas están determinadas como producto estándar por todas las seguridades sociales y cumple todos los requerimientos médicos. Las prótesis oculares de vidrio forman parte del abastecimiento protético general en Alemania y se usan ya desde hace 170 años. Se ha demostrado una muy buena tolerancia del material de vidrio en el cuerpo, no hay ninguna reacción alérgica y existe un alto confort para el paciente al momento de usarla. El material es antialérgico, Biocompatible, resistente y permite una lubricación natural con las mismas lágrimas [49].

En Alemania se utiliza preferentemente cristal, desde hace más de 100 años se aplica con mucho éxito. Las prótesis de material sintético son más alérgicas, menos hidrófilas y la superficie es más blanda (no tiene brillo natural). A pesar de la desventaja que la prótesis de cristal puede presentar por romperse más fácilmente, comparada con la de material sintético, predominan más sus ventajas. Como material base, se utiliza cristal criolita especialmente

desarrollado para el uso de prótesis oculares fabricado solo en una vidriería de Alemania desde 1870 mediante un proceso secreto. Con una técnica de fabricación tradicional, en el transcurso de las últimas décadas está se ha ido convirtiendo en una técnica absolutamente eficaz, que permite la aplicación de nuevos métodos de tratamiento y conceptos terapéuticos de la manera más sencilla [49]. Las propiedades del material son:

- Biocompatible (antialérgico)
- Superficie hidrófila (muy fácil de humedecer)
- Superficie lisa, pulida a fuego
- Elevada dureza superficial
- Elevado brillo
- Buena resistencia química
- Apariencia natural
- Cuerpo hueco, por lo tanto, muy liviano

9.2. COMPARACIÓN DE LAS PRÓTESIS EN VIDRIO - PMMA – RESINA COMPUESTA.

Con base a la información recolectada a través de la búsqueda y análisis exhaustivo, se hace necesario mostrar una comparación entre los materiales para fabricación de prótesis oculares, con el fin de dar a conocer las cualidades de cada uno, y por qué siguen siendo aún los materiales más utilizados, en Alemania el vidrio y en el resto del mundo el predominante PMMA

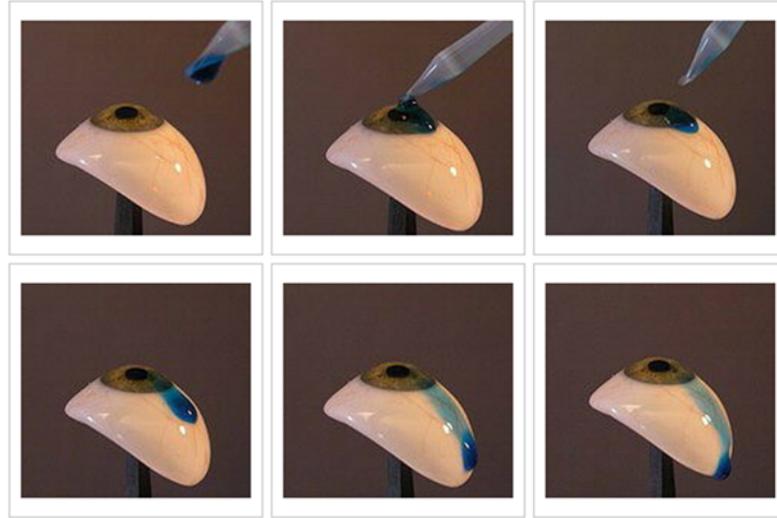
Tabla 1 Comparación de las prótesis en Vidrio – PMMA – Resina compuesta.

Prótesis en vidrio – PMMA – Resina Compuesta.		
Vidrio	Polimetilmetacrilato. PMMA.	Resina Compuesta
Menor durabilidad	Propiedades ante el envejecimiento	Mayor durabilidad
Es frágil.	Resistencia al rayado y a los golpes	Estabilidad al color
Biocompatibilidad con el cuerpo humano	Es Biocompatible con el cuerpo humano.	Biocompatibilidad con el cuerpo humano
Realizado a medida	Fácil de modificar, manipular y pulir	Material viscoso
Peso mayor al PMMA	Alta liviandad	Peso liviano

Fuente: Elaboración del autor.

PROTESIS OCULAR DE VIDRIO: VIDRIO DE CRIOLITA

Ilustración 7 Flujo de líquido en la superficie del vidrio.

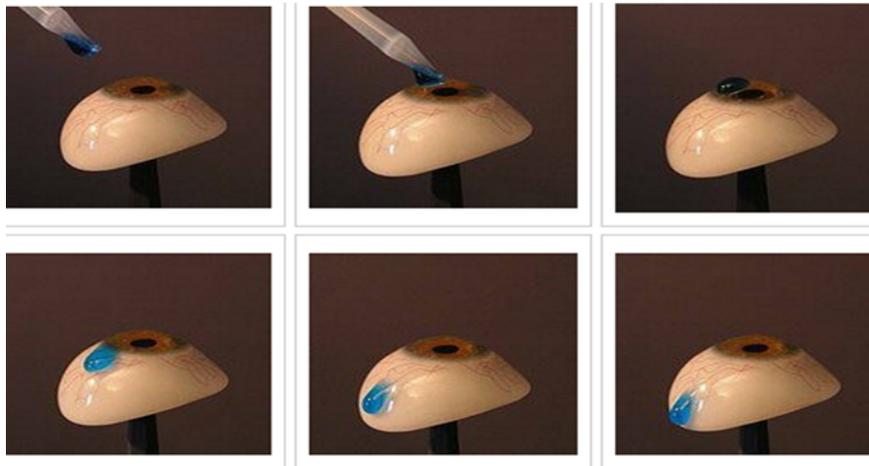


Fuente: Recuperado de <https://www.sb-ocularservice.com/espa%C3%B1ol/pr%C3%B3tesis-oculares/vidrio-y-pl%C3%A1stico-comparaci%C3%B3n/>

Se observa como el líquido, que no es más que una solución salina colorada se distribuye uniformemente por toda la superficie de la prótesis. Anatómicamente hablando esta solución salina hace las veces de la lagrima a lo que podemos decir que es una ventaja que tiene este tipo de material en cuanto a los climas calientes ya que entre los párpados y esta, la lagrima logra mantener lubricada dicha prótesis por lo tanto el paciente se siente cómodo con estas ya que no posee alguna irritación gracias a su textura [49]

PRÓTESIS OCULARES DE PLASTICO/ PMMA (POLIMETILMETACRILATO)

Ilustración 8 Prótesis oculares de plástico/ PMMA.



Fuente: Recuperado de <https://www.sb-ocularservice.com/espa%C3%B1ol/pr%C3%B3tesis-oculares/vidrio-y-pl%C3%A1stico-comparaci%C3%B3n/>

Observamos como la superficie rechaza el líquido por lo que el plástico tiene propiedades de la tensión muy alta y este es capaz de repelar la lágrima; por ende la prótesis siempre parece

estar seca. Los pacientes usuarios de este tipo de prótesis se quejan de incomodidad, sequedad e irritaciones por tanto debe aplicarse frecuentemente lubricantes [49]

9.3. PROCESO DE FABRICACIÓN DE LAS PROTESIS EN PMMA

Para la fabricación de las prótesis oculares se deben realizar una serie de procesos que brinden una perfecta o mejorada adaptación al paciente, estos son: la impresión de la cavidad, un modelo de trabajo, la polimerización del polímero para adquirir una copia en acrílico, hacer los respectivos detalles del iris y vasos sanguíneos con pinturas, pulir y dar acabado a la prótesis para dar un aspecto real de brillantes a un ojo normal.

9.3.1. TOMA DE IMPRESIÓN.

Para la fabricación de una prótesis ocular se debe aplicar glicerina en la cavidad orbitaria para dar inicio a la toma de impresión de la cavidad anoftálmica, la cual se realiza con una adición de impresión y precisión curada a base de silicona. Durante este proceso se le indica al paciente que debe mantener la mirada al frente. Para eliminar el exceso de material de la cavidad orbitaria se puede colocar una barra de plástico dentro del material de silicona antes de que este endurezca [50].

Al momento de realizar el diseño del iris en una prótesis ocular es importante tener en cuenta la calidad de la pintura ya que esta es una propiedad con mayor impacto, si la pintura posee aspecto blanquecino, manchas o incluso alteraciones del color durante y después de la polimerización. Dentro de las pinturas adecuadas para el diseño del iris se encuentran los barnices, acrílicos, aceites o incluso pinturas de automotrices, el diseño o forma del iris pueden realizar en discos de etilcelulosa o acetato [50]

Seguido del diseño del iris se procede a realizar las características de la esclerótica la cual es la base la prótesis ocular, al ser realizada en un material acrílico cuenta con múltiples ventajas como la durabilidad, retención mecánica confiable, facilidad de limpieza, biocompatibilidad y bajo costo. Esta resina acrílica está hecha a base de un polímero en polvo de metilmetacrilato y un monómero líquido, lo cual la hace fácil de pintar, al momento de agregar a la prótesis las características semejantes a las del ojo natural se utilizan hilos de seda, los cuales se asemejan a los vasos sanguíneos y las capas de resina pueden variar si se desea obtener mayor profundidad y translucidez para igual la prótesis con el ojo natural [51].

Esta producción permite al ocularista copiar la superficie posterior de la cavidad, lo que dará como resultado una mejor conformación y movimiento de la prótesis al momento de terminada la prótesis, ya que el objetivo primario de este proceso es lograr una prótesis lo más semejante posible a el ojo sano y que tenga un movimiento sincronizado. Dixit,S. Y colaboradores, explican que esta debe “proveer el máximo confort y restaurar completamente la función fisiológica de los órganos accesorios de los ojos” [28].

“para el proceso de impresión concurren dos grandes grupos de materiales con aplicación ocular, los elastómeros y los hidrocoloides; los primeros son materiales gomosos sintéticos que se caracterizan por estirarse y recuperar su forma original después de la presión; químicamente este grupo está conformado por cuatro clases de compuestos: los poliéteres, polisulfuros, siliconas de adición y siliconas de condensación; en la fabricación de prótesis oculares las referencias bibliográficas indican principalmente el uso de las siliconas de adición, las cuales suelen llamarse materiales de impresión de

polivinilsiloxano que se encuentran con nombres comerciales como Reporsil y Acuasil de Densply fabricante, para citar algunos” - [32].

El segundo grupo de materiales de impresión son los hidrocolide, concretamente los hidrocolides irreversible o alginato; este material deriva del ácido alginico que se halla presente en ciertas algas marinas; su uso popular se debe primariamente a su factible manejo, su precio accesible y su fácil manejo; basta mezclar el material con agua en las cantidades recomendadas por cada fabricante y se logran buenos modelos de trabajo; entre sus desventajas más evidentes están su baja estabilidad dimensional (comparada con los elastómeros), ya que en corto tiempo (menos de 24 horas), la impresión puede sufrir cambios significativos y perder su precisión por contracción debido a la evaporación en el medio ambiente. Así mismo su firmeza es menor, lo que puede menoscabar de la calidad después de varias copias en yeso, y finalmente su menor exactitud de detalles frente a otros materiales como las siliconas de adición o los poliéteres [32].

Ilustración 9 Toma de impresión de globo ocular



Fuente: Infomed

9.3.2. MOLDE EN YESO.

A partir de la impresión de la cavidad, se obtiene un proceso de modelo de trabajo. Se hace la copia de la superficie con yeso odontológico (tipo 2,3, o 5) para lograr la reproducción o impresión positiva de la cavidad. La cual servirá como molde para realizar varias copias en acrílico para prótesis ocular. El modelado se lleva a cabo con yeso (escayola) o sulfato de calcio Hemihidrato, cuyo material es cerámico y se encuentra abundante en la naturaleza. Este material en semejanza con los materiales de impresión, debe cumplir con condiciones para su manipulación y uso sin ignorar las recomendaciones del fabricante [28].

Ilustración 10 Molde de yeso.



Fuente: Recuperado de <http://www.dalpasso.it/es/informacion/como-nace-una-protesis-ocular/>.

9.3.3. POLIMERIZACIÓN.

Una vez obtenido el molde de la cavidad en yeso, se procede a la realización del proceso de polimerización, proceso por el cual se obtiene un nuevo molde, el cual será definitivo para la prótesis final, después de pulirse y pintarse. Utilizando otro material: el polimetilmetacrilato. La polimerización, también conocida como la unión de monómeros o síntesis de polímeros, se da gracias a un proceso o reacción química. A partir de una unidad estructural base (Molécula de monómero), formando una molécula gigante llamada polímero con un número de unidades estructurales repetidas y adheridas unas a otras mediante esta reacción. Este proceso puede hacerse de diferentes maneras, con el fin de lograr el aumento o crecimiento de la molécula de polímero: puede ser por adicción o reacción en cadena o por reacción en etapas o condensación. En este sentido, La polimerización ocurre por una reacción de adición, mediante la activación por calor o por luz ultravioleta, conociéndose como resina de termo curado y foto curado respectivamente; generalmente la presentación del PMMA es de dos componentes: uno líquido formado por el monómero y un polvo donde está parte del polímero; así se mezcla parcialmente el monómero con el polímero y se forma una masa plástica que posteriormente se introduce dentro del troquel de yeso y se cierra rápidamente para obtener el modelo polimerizado una vez se activa la reacción mediante calor [52].

Ilustración 11 Polimerización



Fuente: Recuperado de <http://www.dalpasso.it/es/informacion/como-nace-una-prtesis-ocular/>.

9.3.4. PROCESO DE PINTURA DE LA PRÓTESIS.

Ya obtenido el modelo en polimetilmetacrilato (PMMA) de la cavidad, se continúa a tomar las medidas dentro de la cavidad del paciente; cuando se encuentra posicionado el molde en la órbita se puede observar cómo se adecua e interactúa con los párpados y su relación en tamaño con el ojo contra lateral. Se toma entonces la medida del iris y se establece el centro de la pupila, utilizando una linterna y colocando al paciente que la vea fijamente. El color de iris y de esclera se establece por comparación directa del ojo contra lateral con buena iluminación. Una vez estipulado el color, la fabricación del iris puede realizarse mediante una de varias técnicas, como la pintura aplicada directamente al modelo, o con la fabricación individual de un botón en PMMA transparente pintado al revés y posteriormente fijado al modelo en acrílico o la variación de ambas [28].

Para la ejecución de esta parte del proceso de fabricación, Se manejan “pinturas acrílicas para el iris y detalles del ojo: vinilos, acuarelas o esmaltes de acuerdo a las preferencias de cada

fabricante, ya sea por su manejo, familiaridad con cada una de ellas y destreza en la técnica de la pintura, puesto que este paso es básicamente artístico; los pinceles son de bajo calibre por la precisión requerida en los pequeños detalles como vasos sanguíneos de la esclera, las criptas vistas como las líneas o pliegues del iris y pupila. Puede pintarse a mano alzada o con ayuda de instrumentos como motores giratorios de 1250 rpm (aproximadamente), sobre los cuales se fija el botón transparente o la prótesis, para luego aplicar sobre ellos la pintura y obtener una superficie teñida de forma homogénea” [53].

Ilustración 12 Pintado de prótesis ocular.



Fuente: <http://www.foucaultacerbi.com.ar/protesis-oculares/fabricacion.html>

Posterior a esto se le aplica un material llamado Plasma el cual fue patentado en el año 2015 por el Dr Fausto R. Bernal; el demostró que al aplicarle dicho material a la prótesis ocular proporcionaba a esta una superficie homogénea de increíble suavidad, mejor humectación y alto confort, lo cual elimina las imperfecciones microscópicas que pueden resultar incomodidad para el paciente y a su vez aumenta su durabilidad a 10 años de uso aproximadamente [54]. Este es un procedimiento fisicoquímico en el cual se logra alterar la superficie de los polímeros siendo este un material que al aplicarle energía su temperatura aumenta y pasa de un estado sólido a líquido y gas, formado por la ionización de átomos mediante un proceso de termopolimerización a temperaturas de 100 ° C [54].

9.3.5. PULIDO Y ACABADO DE LA PRÓTESIS.

Estando lista la prótesis ocular con la última capa de acrílico se realiza el desgaste con un material abrasivo que permita hacer el acabado de la superficie de la prótesis, este procedimiento se hace con el fin de remover todos aquellos defectos de la superficie mediante instrumentos de corte, como piedras abrasivas, y por último se le da brillo para que torne lo más parecido posible a un ojo normal.

Es importante resaltar que el proceso de pulido elimina la porosidad y rugosidad, pero da mayor resistencia al material, al deslustre y la corrosión. Este procedimiento hace que se disminuyan las posibilidades de crear depósitos bacterianos que atenten contra la salud del paciente. Debido a que las superficies lisas detienen menos partículas, permitiendo que las lágrimas puedan deslizarse sin inconvenientes, reduce su interacción con el tejido conjuntival,

disminuye el riesgo de reacciones inflamatorias y alérgicas. Aumentando el confort y la tolerancia con el tejido. En consecuencia, cuando se obtiene la apariencia lisa, homogénea y lustrosa deseada de la superficie de la prótesis, se concluye con el proceso de fabricación y es necesario citar al paciente para la adaptación de su prótesis [53].

Ilustración 13 Pulido y acabado de la prótesis ocular



Fuente: DalPasso.

9.4. IMPORTANCIA ESTÉTICA Y FUNCIONAL DE LAS PROTESIS OCULARES.

La importancia estética y funcional de una prótesis ocular:

- Repara artificialmente la cara del globo ocular.
- Mejora la afectación psicológica.
- Evita la deformación o el cierre total de la cavidad orbitaria.
- Previene la atrofia de los músculos palpebrales y el debilitamiento de los tejidos.
- Evita las asimetrías faciales.
- Mantiene el tono de los músculos.
- Restituye la dirección del flujo lagrimal por sus conductos apropiados.
- Protege la parte sensible de la órbita evitando la entrada de cuerpos extraños, que irriten o lesionen [10].

7. DISCUSIÓN

El objetivo general que planteábamos en nuestra revisión bibliográfica era conocer los materiales utilizados en la actualidad para la fabricación de las prótesis oculares, a lo largo de su desarrollo encontramos que en el año 2012, Cevik P, Dilber E, Eraslan realizaron un estudio basado en diferentes técnicas de fabricación de prótesis oculares, el cual consistió en una prótesis ocular elaborada en PMMA de la cual se concluyó que este material tenía propiedades de estabilidad respecto a su color a lo largo del tiempo, que a pesar de que podía experimentar retención de suciedades; si se le realizaba constantemente mantenimiento, esta podría ayudar a contrarrestar estos efectos y tener un tiempo de durabilidad de 2 a 6 años.

Luego en el año 2014; Mc Bain desarrollo un estudio basado en el impacto psicosocial de los usuario de prótesis oculares, el cual demostró, que las prótesis realizadas en material de vidrio presentaban mayor ventaja estética y de durabilidad que las realizadas en PMMA, pero que este tipo de material era más resistentes que el vidrio debido a que no era tan frágil ante accidentes y que a su vez presentaba una fácil humectación, adaptación y confort, ya que no presentaba ningún tipo de molestias ni alteraciones en la cavidad orbitaria haciendo que sus usuarios se sintieran mucho cómodos a la hora de realizar actividades de interacción social y a su vez ayudaban a una adecuada imagen corporal y mantener su autoestima.

Posteriormente Koch KR, Trester W y Müller en el año 2016 compartieron un estudio basado en las compliaciones que podían presentar los usuarios de protesis oculares, en el cual descubrieron que el PMMA era un material idóneo para la elaboración de las prótesis oculares, ya que no presentaba ningún tipo de complicaciones pero uno de sus inconvenientes era la habilidad del laboratorio o personal para el manejo de sus componentes como el yeso y el acrílico, ya que debían ser manipulado por profesionales capacitados en habilidades y conocimientos.

Teniendo en cuenta los puntos de vista de los autores mencionados anteriormente y basándonos en sus estudios y las investigaciones realizadas podemos evidenciar que el PMMA es el materiales más utilizados en la actualidad para la fabricación de prótesis oculares; aunque existen otro materiales como los descritos a lo largo de la revisión, este resalta por sus inigualables características de biocompatibilidad con el cuerpo humano, su mayor resistencia al rayado y fácil adaptación y confort.

8. CONCLUSIÓN

Las prótesis oculares a lo largo del tiempo han logrado avanzar en su totalidad con materiales que brindan durabilidad, estabilidad pero sobre todo estética. Nuestro mercado cuenta con un sin número de productos que día a día permiten al profesional de la salud ser mejor en los tratamientos que ofrecen.

Sin duda alguna actualmente para la fabricación de las prótesis oculares el material ideal es el PMMA por sus diferentes ventajas, propiedades y capacidades que este presenta como son su transparencia, estabilidad química al calor y notables propiedades ante el envejecimiento, este también brinda la posibilidad de escoger el color, para dar la apariencia más similar al ojo contralateral. Adicional a esto el PMMA es un material que no presenta ningún tipo de complicaciones o alteraciones en la cavidad orbitaria, lo cual va a proporcionar al usuario un mayor confort y una mayor seguridad a la hora de realizar su adaptación.

El PMMA es un material que deja entrever su compatibilidad con los tejidos del cuerpo humano, y su amplio reconocimiento en el mercado internacional siendo uno de los más vendidos para la elaboración de prótesis oculares.

9. BIBLIOGRAFÍA

- [1] M. C. Goiato, L. C. Bannwart, M. F. Haddad, D. M. Dos Santos y A. A. Pesqueira, «Fabrication techniques for ocular prostheses - An overview,» *Healthcare*, pp. 229 - 233, 2014.
- [2] I. Fernandez-Bueno, S. Di Lauro, M. T. Garcia-Gutierrez y I. Fernandez, «Safety and Biocompatibility of a New High-Density Polyethylene-Based Spherical Integrated Porous Orbital Implant: An Experimental Study in Rabbits,» *Journal of ophthalmology*, p. 10, 2015.
- [3] Organización Mundial de la Salud, «<http://www.who.int>,» Saud, 11 10 2017. [En línea]. Available: <http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/blindness-and-visual-impairment>. [Último acceso: 15 Julio 2018].
- [4] F. H. Moreno-Caviedes, N. Vélez Cuellar, M. Caicedo Zapata y G. Triana Reina, «Characterization of eyeball loss in four cities of Colombia,» *Cureus*, vol. 9, nº 9, 2017.
- [5] G. Thews, E. Mutscler y P. Vaupel, Anatomía, fisiología y patofisiología del hombre. Manual para farmacéuticos y biólogos, Bogotá: Reverte S.A., 1983.
- [6] P. Kaufman y A. Albert, Adler Fisiología del ojo: aplicación clínica., España : Elsevier. , 2003.
- [7] E. Bonafonte, esquemas clínico-visuales en oftalmología., tercera edición ed., Barcelona : Masson S.A, 2006.
- [8] K. Moore y A. Dalley, Anatomía con orientación clínica., octava edición ed., Bogotá : Panamericana , 2007.
- [9] D. P. Usma Padilla, Manual de prótesis oculares. Una guía para optómetras, Bogotá: Versalles, 2007.
- [10] L. Sanchez Gonzales, F. Barceló santana, R. Jimenes Castillo y A. Benavides Rio, «Deterioro físico acelerado de las prótesis oculares in vitro.,» *Revista odontológica mexicana* , vol. 16, nº 1, Marzo 2012.
- [11] J. Hernandez Amaya, A. Carrillo Rodriguez, S. Hernandez Rodriguez, S. Paz Paez, H. Reina Zambrano, Z. Santos Rueda y S. Vidales Correa, Serie cuadernos de optometría, lo que siempre quiso anotar y no alcanzo., Bogotá DC: Fundación Universitaria del Área andina, 2015.
- [12] A. Navarro Ramírez, M. D. Santiago Santiago y J. García Alcázar, Extracciones de tejidos, prótesis, marcapasos y otros dispositivos contaminantes del cadáver, EBook: IC editorial, 2018.
- [13] K. Galett, Fundamentos de oftalmología veterinaria, MASSON, 2003.
- [14] M. Ortiz Silveira, M. García Gali, M. Reborido Fernández y M. Díaz García, Consideraciones generales de las técnicas de evisceración y enucleación del globo ocular, Santiago de Cuba: Medisan, 2009.

- [15] J. Kotcher Fuller, Instrumentacion quirurgica, Ciudad de Mexico: PANAMERICANA - UNAM, 2013.
- [16] J. C. Colombo Pulgarin, «Protesi ocular estetica con movimiento. Propuesta de diseño de una superficie de apoyo deslissante (SAD),» *Universidad EAFIT*, vol. 1, n° 1, 2011.
- [17] P. M. Gómez Floréz, «Protesis ocular apartir del polimetilmetacrilato,» *cuaderno de investigaciones - Andina*, vol. 1, n° 1, pp. 26-31, 2012.
- [18] P. Cevik, E. Dilber y O. Eraslan, «Diferentes técnicas de fabricación de Prótesis Oculares,» *La Revista de Cirugía Craneofacial*, vol. 23, n° 6, p. 3, 2012.
- [19] E. Gomez Aragon, *Desarrollo de una protesis ocular mecatronica movil*, México: Universidad Nacional Autonoma de Mexico, 2014.
- [20] M. A. Florez Perez y O. A. Rodriguez Gonzales, *Diseño de protesis ocular para personas que presentan excenteracion*, México: Universidad Nacional Autonoma de México, 2016.
- [21] Ministerio de salud, Resolución 8430 de 1993, Bogotá, 1993.
- [22] MinTIC, Ley 23 de 1982, Botogá, 1982.
- [23] Constitución política de Colombia, Bogotá, 1991.
- [24] Ley 23 de 1982, Bogotá, 1982.
- [25] Código Penal, Bogotá, 2000.
- [26] Ministerio de educación, Ley 372 de 1997, Bogotá, 1997.
- [27] Ministerio de protección social, Decreto 1030 de 2007, Bogotá, 2007.
- [28] P. Gomez, «Protesis oculares: una mirada a las protesis oculares.,» *Andina*, vol. 12, n° 20, Marzo 2010.
- [29] L. Sanchez Gonzales, F. Barceló Santana, R. Jimenez Castillo y A. Benavides Rio, *deterioro fisico acelerado de las protesis oculares en vitro*, México: Universidad Nacional Autonoma de México, 2012.
- [30] M. Barreto Ortega, M. Ruiz Perez, M. Ramires Cruz, E. Rodriguez Pimienta y J. Sotolongo Reina, «Protesis ocular en Thessis bulbo,» *Gaceta medica Espirituana*, 2012.
- [31] M. Mirando Rollon, M. Rodriguez Cavas, C. Molero Izquierdo, D. JImenez Castejon y J. Hara Luna, *Excenteración orbitaria: indicaciones, tecnicas quirurgicas y reconstruccion*, Murcia: Othea, 2016.
- [32] Foucault, «Foucault. Prottesis oculares,» [En línea]. Available: <http://www.protesisocularesfoucault.com/cascarillas-esclerales.php>.
- [33] J. Torivio Garcia, *Estudio de la flora conjuntival y su capacidad de formacion de biofilm sobre material protesico en pacientes anoftalmicos.*, Leon: Universidad de leon., 2015.
- [34] G. C. A. & P. A. M., *Protección de materiales*, Ebook, 2009.

- [35] D. Usma Padilla, Manual de prótesis oculares. Una guía para optometras., Bogotá: Universidad del área andina..
- [36] S. Gradinaru, V. Popescu, C. Leasu, S. Yasin, R. Ciuluvica y E. Ungureanu, «Hydroxyapatite ocular implant and non-integrated implants in eviscerated patients,» *Journal of Medicine and Life*, pp. 90-93, 2015.
- [37] E. Moreno Granados, A. Alvarez Rivero y N. Martínez Suárez, Movilidad de prótesis ocular individuales sobre implante de hidroxiapatita porosa Coralina HAP 200, Habana: Instituto superior de ciencias médicas..
- [38] Y. El mar, «Universidad virtual de salud,» 29 01 2013. [En línea]. Available: <http://uvsfajardo.sld.cu/evisceracion-ocular-implante-de-hidroxiapatita>. [Último acceso: 15 07 2018].
- [39] Universidad de Barcelona, «UB.edu,» 6 2014. [En línea]. Available: <http://www.ub.edu/cmematerials/es/content/hidroxiapatita>. [Último acceso: 28 08 2018].
- [40] C. Amaya, Serie cuadernos de optometría, lo que siempre quiso anotar y no alcanzo., Bogotá: Distribuidora y librería universitaria, 2015.
- [41] I. Rojas Rondón, H. Turiño Peña y L. Ramírez García, «Manejo clinocoquirúrgico de la anoftalmia y de la microftalmia congénitas,» *Revista cubana de oftalmología*, vol. 29, nº 4, pp. 663-674, 2016.
- [42] «Dallpasso,» 2015. [En línea]. Available: <http://www.dalpasso.it/es/informacion/implantes/implante-de-medpor/>. [Último acceso: 17 07 2018].
- [43] Universidad de barcelona, «UB.edu,» Materls, 04 2014. [En línea]. Available: <http://www.ub.edu/cmematerials/es/content/polietileno-de-alta-densidad>. [Último acceso: 27 07 2018].
- [44] A. Abarca, A. Naser y J. Pardo, «Aplicaciones de materiales anopásticos en retinosplatia,» *Revista de otorrinolarigol*, 2010.
- [45] Universidad de Barcelona, «UB.edu,» 05 2014. [En línea]. Available: <http://www.ub.edu/cmematerials/es/content/polimetil-metacrilato>. [Último acceso: 28 07 2018].
- [46] C. Lopez Moreno, *Estudios de nuevos Films de PMMA modificados con liquido iónico*, Cartagena: Universidad de Cartagena, 2014.
- [47] E. Arriagada, «Materiales dentales resinas acrílicas,» Universidad de la concepción, Ciudad de Chile, 2000.
- [48] ORGAIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD, «Biblioteca virtual de desarrollo sostenible y salud ambiental,» Pro salute, 2015. [En línea]. Available: <http://www.bvsde.paho.org/bvsair/e/repindex/rep159/pia/pia.html#copo>. [Último acceso: 2018].

- [49] Ocular service, «Ocular service,» *Kunstaugenpraxis*, 2012. [En línea]. Available: <https://www.sb-ocularservice.com/espa%C3%B1ol/pr%C3%B3tesis-oculares/propiedad-y-material/>. [Último acceso: 20 07 2018].
- [50] P. Cevik, E. Dilder y O. Erasland, «Different techniques in fabrication of ocular prosthesis,» *The Journal of Craniofacial Surgery*, vol. 6, nº 23, 2012.
- [51] M. Coelho, L. Bannwart, M. Haddad, D. dos Santos, A. Alves Pesqueira y G. Issamu Miyahara, «Fabrication Techniques for Ocular Prostheses – An Overview,» *Informa Healthcare USA*, 2014.
- [52] E. Torres, «Avances de la optometría en México,» 7 09 2015. [En línea]. Available: <http://avancesdelaoptometriamx.blogspot.com/2015/09/polimerizacion-del-polimetilmetacrilato.html>. [Último acceso: 22 07 2018].
- [53] J. L. Rodríguez Guerrero, SCRIBD, 2016. [En línea]. Available: https://es.scribd.com/document/332546816/protesis-oculares#from_embed. [Último acceso: 25 07 2018].
- [54] B. Fausto R, «TRATAMIENTO CON PLASMA EN PRÓTESIS OCULARES,» *Optometría, QUITO*, 2018.
- [55] R. R. Bourne, S. R. Flaxman, T. Braithaite y M. V. Cicinelli, «Magnitude, temporal trends, and projections of the global prevalence of blindness and distance and near vision impairment: a systematic review and meta-analysis,» *The Lancet Global Health*, pp. e888-e897, 2017.
- [56] G. Thews, E. Mutscler y P. Vaupel, *Anatomía, fisiología y patofisiología del hombre. Manual para farmacéuticos y biólogos.*, Bogotá: Reverte S.A, 1983.
- [57] D. Rodríguez y N. Pereira, «Evolución y tendencias actuales en resinas compuestas,» *Acta odontológica Venezolana*, vol. 46, nº 3, p. 13, 2008.
- [58] A. K. Phillips, *Ciencia de los Materiales Dentales*, Madrid: 11, 2004.
- [59] ADA Council on Scientific Affairs, «Direct and indirect restorative materials,» *JADA*, vol. 134, nº 1, p. 9, 2003.