



**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE YUCATAN**

---

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**“IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE  
MONITOREO DEL FRAGUADO DE CEMENTOS  
OSEOS PARA SU USO ORTOPEDICO”**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**RAUL AMILCAR SANTOS MAGAÑA**

**EN SU EXAMEN PROFESIONAL**

**EN OPCION AL TITULO DE:**

**INGENIERO FISICO**

**MERIDA, YUCATAN, MEXICO  
2002**

# ÍNDICE.

	Página
PRÓLOGO.	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS.	iii
ÍNDICE.	v
ÍNDICE DE FIGURAS.	x
ÍNDICE DE TABLAS.	xiii
INTRODUCCIÓN.	1
ANTECEDENTES.	6
OBJETIVOS.	9
<b>CAPITULO 1 CONCEPTOS GENERALES.</b>	
1.1 Polímeros.	10
1.1.1 Clasificación de los polímeros.	11
1.1.2 Reacciones de polimerización.	13
1.1.2.1 Polimerización por adición.	13
1.1.2.2 Polimerización por condensación.	17
1.1.3 Polímeros como Biomateriales.	17
1.2 Biomateriales.	18
1.2.1 Biocompatibilidad.	23
1.2.2 Clasificación de los biomateriales.	24

**CAPITULO 2 CEMENTOS ÓSEOS.**

2.1 Artoplastía total de cadera.	29
2.2 Características de los cementos óseos.	34
2.3 Formulación de cementos óseos.	37
2.3.1 Componente sólido.	37
2.3.2 Componente líquido.	38
2.4 Factores que afectan las propiedades de los cementos óseos.	39
2.4.1 Variables controlables durante la fabricación.	40
2.4.2 Propiedades físicas y estructurales.	42
2.4.3 Ambiente fisiológico de los cementos óseos.	44
2.5 Ventajas y desventajas del uso de los cementos óseos.	45
2.6 Calor de polimerización.	46

**CAPITULO 3 MATERIALES Y MÉTODOS DE PREPARACIÓN.**

3.1 Sistema de adquisición de datos.	49
3.2 Reactivos.	49
3.3 Preparación de cementos óseos.	50
3.4 Adquisición discreta de datos para el estudio de exotermas de reacción de cementos óseos según la norma ISO 5833.	51
3.5 Medición continua de temperaturas máximas y tiempos de curado en cementos óseos.	52

3.5.1 Elaboración de un programa en LabVIEW.	52
3.5.2 Medición continua de exotermas de reacción.	59
3.5.2.1 Medición en cementos óseos preparados con metil-metacrilato (MMA).	60
3.5.2.2 Medición en cementos óseos preparados con MMA e hidroxiapatita (HA).	61
3.5.2.3 Optimización de los tiempos de curado para cementos preparados con MMA y 20% de HA.	61
3.5.2.4 Determinación del efecto de la temperatura ambiental en las exotermas de reacción.	61
3.6 Determinación de perfiles de temperatura en prótesis simuladas con huesos bovinos y clavos metálicos.	62
3.6.1 Limpieza de hueso bovino.	62
3.6.2 Determinación de exotermas de reacción en hueso bovino.	62
3.7 Implementación de un sistema de monitoreo del curado de cementos de relevancia quirúrgica.	66
3.7.1 Predicción de exotermas de reacción.	66
3.7.2 Generación de un instrumento virtual en LabVIEW para predecir tiempos de curado y temperaturas máximas teóricas en cementos óseos.	66
3.7.3 Generación de un instrumento virtual en LabVIEW para monitorear el curado y temperaturas máximas de cementos óseos durante una intervención quirúrgica.	70

**CAPITULO 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.**

4.1 Programas realizados en LabVIEW.	73
4.1.1 Programa en LabVIEW para la medición continua de temperaturas máximas y tiempos de curado en cementos óseos.	73
4.1.2 Predicción del comportamiento de las exotermas de reacción con base en los resultados experimentales.	75
4.1.3 Instrumento virtual para predecir el comportamiento de las temperaturas máximas y tiempos de curado de cementos óseos.	78
4.1.4 Sistema de monitoreo del curado de cementos óseos durante una intervención quirúrgica.	81
4.2 Resultados experimentales.	84
4.2.1 Exotermas de reacción y tiempos de curado adquiridos de manera discreta y continua.	84
4.2.2 Exotermas de reacción y tiempos de curado para cementos óseos preparados con MMA e hidroxiapatita.	85
4.2.3 Optimización de los tiempos de curado para cementos preparados con MMA y 20% de HA.	88
4.2.4 Efecto de la temperatura ambiental sobre los cementos óseos.	91
4.2.5 Exotermas de reacción y tiempos de curado obtenidos en prótesis artificiales simuladas.	92
4.2.6 Eficacia del programa <i>Sistema de Monitoreo del Fraguado de Cementos</i>	94

Óseos.	
4.2.6.1 Uso del programa <i>Sistema de Monitoreo del Fraguado de Cementos Óseos</i> durante una Artoplastia total de cadera.	96
4.2.6.2 Ventajas y Desventajas del uso del programa <i>Sistema de Monitoreo del Fraguado de Cementos Óseos</i> .	97
<b>CONCLUSIONES.</b>	99
<b>SUGERENCIAS PARA TRABAJOS FUTUROS.</b>	100
<b>REFERENCIAS.</b>	101
<b>BIBLIOGRAFÍA.</b>	103

## PRÓLOGO.

Cuando se toma la decisión de hacer una tesis, se ponen en consideración muchos factores, por ejemplo la propia inclinación hacia una determinada disciplina. En mi caso, el campo de la física médica me ha resultado siempre muy atractivo porque considero que desde él se pueden lograr avances en la salud humana, que aunque si bien no son tan notorios como los de la medicina propiamente dicha forman parte de los esfuerzos para aliviar en parte las dolencias físicas del hombre. Explorar ésta disciplina me permite dar mi modesta aportación a todos éstos estudios, de ahí la decisión de desarrollar como tema de tesis el estudio de los cementos óseos.

Los cementos óseos de poli(metacrilato de metilo) han sido usados por más de cuarenta años, pero la necesidad de desarrollar este material en nuestro país y disminuir con ello los costos de su aplicación ha llevado al Dr. Juan Valerio Cauich Rodríguez a estudiar sus propiedades mecánicas, físicas, etc. En el presente trabajo se estudiaron algunas características de los cementos óseos como lo son su tiempo de curado y su temperatura máxima alcanzada durante la reacción de polimerización con el objeto de desarrollar un sistema de monitoreo que sea de utilidad a los cirujanos ortopedistas y se realice con ello una intervención quirúrgica mucho más eficaz.

Espero que esta pequeña aportación que realicé sea de utilidad, así como todo aquello que emprenda a partir de ahora, momento en el que se cumple un sueño que traigo de mi niñez, la de realizar una carrera universitaria. Agradezco a cada una de las personas que formaron parte y me alentaron a alcanzarlo.