# Prototipo para el seguimiento en la rehabilitación de pacientes posterior a una fractura supracondílea humeral.

"Baakel"

Trabajo	Terminal No.	

Alumnos: \*Arenas de la Calleja Carlos Eduardo, Ortiz Meraz Isaac Baruch, González Platón Pedro Directores: Rocha Bernabé María del Rosario, Mendez Segundo Laura \*email:carenasd1601@alumno.ipn.mx

**Resumen** – En este trabajo se pretende desarrollar un prototipo utilizando una manga con sensores FLEX y un dispositivo de contrapeso, comunicados a una aplicación software que permita dar un seguimiento en la rehabilitación del paciente posterior a una fractura; en este caso particular, para la rehabilitación de los brazos en aquellos menores que hayan sufrido una fractura supracondílea humeral donde la rehabilitación es necesaria para evitar el atrofio total del músculo involucrado.

Palabras clave: Rehabilitación física, Sensores, Microcontroladores, Lesión traumática, Aplicación Móvil

#### 1. Introducción

Los traumatismos y las fracturas son uno de los principales motivos de consulta en atención primaria y urgencias hospitalarias. El tejido óseo infantil presenta una composición química y características fisiológicas diferentes del hueso adulto. Estas propiedades condicionan una respuesta particular del hueso infantil a los traumatismos y algunos tipos de fractura específicos de la infancia[1]. La rehabilitación física se realiza a través de tratamientos utilizando diversos instrumentos y técnicas, como el calor, frío, la luz o la electricidad, para aliviar dolores, desinflamar, tratar arcos de movimiento, recuperar músculos, corregir la postura y otras imperfecciones[2].

Los equipos en fisioterapia permiten al usuario restablecer las funciones motrices. En la fisioterapia estos equipos son usados de manera regular generando facilidades tanto para el paciente afectado y el profesional que las emplea, permitiendo que se hagan procedimientos de manera más eficaz y segura.

En la última década la tecnología ha avanzado en muchos campos profesionales alrededor del mundo, en fisioterapia el uso de la tecnología ha tenido un aumento exponencial en la creación de dispositivos tecnológicos de intervención y evaluación fisioterapéutica. Dentro de la evidencia se ha referenciado la creación de nuevos sistemas tecnológicos utilizados en la valoración y manejo de pacientes con diversos tipos de patologías. Por ejemplo: en pacientes con lesiones neurológicas se han creado dispositivos tecnológicos enfocados en la rehabilitación de habilidades tales como balance, propiocepción, equilibrio y marcha. En deportistas se ha reportado el uso de nuevas tecnologías para la medición de características antropométricas, entrenamiento de habilidades a través de tecnología virtual [3].

La fractura supracondílea humeral es una solución de continuidad de la metáfisis distal del húmero por encima de la línea fisaria; es la segunda más frecuente en niños entre 5 y 7 años de edad[4],[5], y la más común en cuanto a lesiones del codo (86%)[6]; ocupa el primer lugar de fracturas que requieren cirugía en edad pediátrica[7].

Debido a esta estadística, es común para un fisioterapeuta tener que trabajar en la rehabilitación de menores con este tipo de lesiones utilizando el equipo que se tenga disponible, y en ocasiones se utilizan métodos subjetivos para realizar diagnósticos y determinar avances en la rehabilitación, como lo es la extensión y flexión del ángulo del codo y la fuerza que este posee.

Con el desarrollo de este prototipo se elaborará una alternativa brindando un seguimiento en la rehabilitación de pacientes, permitiendo al usuario y al fisioterapeuta, poder trabajar a distancia mediante el software con los pacientes que no tengan las condiciones físicas o económicas para trasladarse a las clínicas de rehabilitación.

El prototipo consiste en una manga que el paciente tendrá que ponerse en el brazo, permitiendo así que por medio de un módulo de comunicación se envíen los datos medidos de fuerza y arcos de movilidad del codo a la aplicación móvil. Ésta va a mostrar en pantalla los datos que se registraron, junto con la información del paciente, para que finalmente se pueda generar un reporte con datos recabados y que el profesional de la salud pueda hacer una lectura y estimación con esa información

#### Sistemas Similares

A continuación se presenta una lista de sistemas similares que han sido desarrollados:

- 1. Desarrollo de interfaz gráfica con sistema embebido para prototipo de rehabilitación pasiva de brazo[8].
  - Con el uso de termografía infrarroja hacen observaciones en rutinas flexión-extensión de codo utilizando una interfaz intuitiva.
  - Requiere que se tenga el espacio suficiente en una habitación para que el rehabilitador pueda ser utilizado.
- 2. Prototipo rehabilitador pasivo de codo para asistencia en actividades de fisioterapia [9].
  - o Sistema que asiste a la rehabilitación mediante rutinas con un brazo mecánico.
  - O Utiliza sensores térmicos para mostrar el esfuerzo que los músculos realizan.
- 3. Elbowlution[10].
  - Ortesis de codo utilizada para la rehabilitación de lesiones generales en el codo limitando los grados de flexión y extensión, teniendo un control del movimiento seguro del brazo.
  - Uso de velcro para el ajuste en el brazo y tamaño ajustable para la comodidad del paciente.
- 4. Sistema servo-mecánico para la rehabilitación de codo y muñeca[11].
  - O Por medio de los servomotores asiste a la rehabilitación de personas que han sufrido lesiones en el codo proporcionando una serie de ejercicios para que el paciente los realice.
  - Proporciona sesiones de rehabilitación, con la posibilidad de ser asistidas por los servomotores.

#### 2. Objetivo General

 Desarrollar un prototipo de un sistema híbrido para el seguimiento en la rehabilitación del paciente posterior a una fractura supracondílea en el humeral, utilizando una manga con sensores y una aplicación móvil de manera remota.

#### 2.1 Objetivos Específicos

- Diseñar una manga que por medio de sensores FLEX permita medir el ángulo de flexión del codo.
- o Implementar un dispositivo de contrapeso para medir la fuerza ejercida por el codo.
- Desarrollar un módulo de comunicación entre el prototipo y la aplicación móvil.
- Desarrollar una aplicación móvil que muestre la información recopilada del hardware, para generar un reporte del paciente.

#### 3. Justificación

Las fracturas supracondíleas de húmero son frecuentes en niños entre 5 y 7 años de edad; la prevalencia mundial oscila entre el 3 y el 16%, predominando en varones; el 90-95% corresponde a lesiones por extensión; la necesidad de una atención inmediata radica en la prevención de complicaciones y secuelas[12]. En la actualidad se utilizan métodos de rehabilitación física, por medio de ejercicios que miden el avance de los pacientes de manera subjetiva, requiriendo así de un experto para poder ser evaluados, además de que los pacientes deban transportarse hasta donde se encuentre un especialista y aún así tener que esperar al análisis de información sobre la evolución de sus lesiones.

Los beneficios de la implementación de nuestro prototipo pueden ser:

- Para el paciente
  - o La posibilidad de monitoreo desde casa.
  - La accesibilidad del producto.
  - La facilidad de uso.
- Terapeuta
  - La obtención de datos de forma remota.
  - Obtener de manera precisa los datos de la evolución en el tratamiento.
  - Llevar registro global en la evolución de todos los pacientes.

La propuesta de desarrollo que se presenta implica el empleo de conocimientos de instrumentación, así como el desarrollo de una aplicación móvil para Android que recopila la información recabada por el hardware por medio de un módulo de comunicación, transfiriendo al sistema donde podrá ser visualizada, y evaluada por el fisioterapeuta.

#### 4. Productos o Resultados Esperados

Los productos esperados al final son los que se enlistan a continuación:

- Manga con sensores FLEX implementados.
- Dispositivo de contrapeso.
- Módulo de comunicación entre la manga y la aplicación.
- La aplicación móvil.

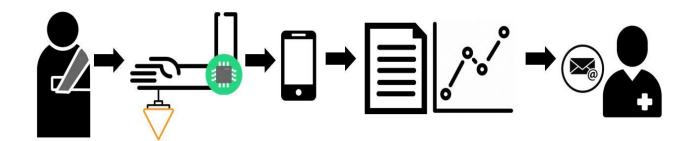


Figura 1.- Arquitectura general del prototipo

### 5. Metodología

Para este trabajo se planea usar una metodología de prototipos o modelo evolutivo, se inicia con la definición de los objetivos globales para el software y hardware, luego de identificar los requisitos conocidos y las áreas del esquema en donde es necesaria más definición. Este modelo se utiliza para dar al usuario una vista preliminar de partes del prototipo. Consiste en mostrar pruebas al usuario y trabajar con lo perfectible hasta que el usuario quede satisfecho [13].

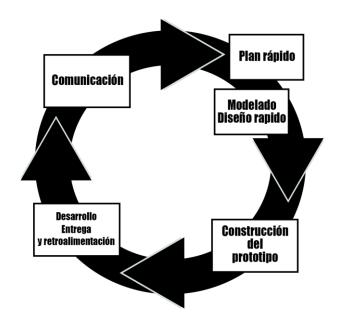


Figura 2.- Diagrama de metodología de prototipos

De acuerdo con el modelo de desarrollo que elegimos, se han establecido los siguientes prototipos y su alcance.

Versión	Alcance
Prototipo 1	-Diseño de la manga y elección de materiales -Implementación de sensores.
Prototipo 2	-Recabación de datos mediante el dispositivo de alta integración.
Prototipo 3	-Desarrollo de la aplicación móvil y su comunicación con el microcontrolador.
Prototipo 4	-Creación y envío de reportes.

## 6. Cronograma

En las siguientes figuras se presentarán los cronograma de actividades individuales del proyecto con el estimado de tiempo de análisis y desarrollo.

Ortiz Meraz Isaac Baruch	$\Box$		neart-		0.000								100			Sour P				(200		+			- 17	000	-	-	-	
Actividad Semanas	1	Agos	to 3	S	eptie 2	emb	re 4	Oc.	tubre		Novi		re :	and the same	embi	e 4	Feb	3	4	1 2	arzo	1	_	Abril 3	4		Mayo		J-	unio
Actividad Semanas	1	2 .	3   4	+   1		3	4	_	_	0.00	a cio		4	1   2	)	4 .	LLZ	3	4	1   2	13	4	1 2	2 3	4	1 2	2 3	4	1   2	2   3
Metodos y ejercicios de rehabilitación			Т	Т	Т	П	Ť	ш,	1 9901	1150		Т	Т	Т	П	Т	Т	П	П	Т	П	Т	T	Т	П	Т	Т	П	┯	T
Sensores implementables a la solucion		+	-		$\vdash$	10	100	+	+	*		10 10	7 10	+	Н	X (8)	7	1	2 10	+	+	<del>-</del>	7	+	100	+	+	+	+	+
Dispositivos de control y aplicabilidad			-80		H	2 3	-0	-10-		3-36	-8	8 3	-0	-10-	H	3)—)	-	3-3	(-C)	- 0	H	3)—12	-89	- 13-3	(-C)	-10	1		+	-
Dispositivos de control y apiteaomidad	Н	_	0.00	-	-			-	An	ali	eie		_	-						-		_				-	-		-	
Análisis general del problema				7		S - 82	7/2	Ť	АШ	all	212	9-0	- 12	-	П	<u> </u>	· (c)	0 0	- 22	T)	H	W 192	10	- 20 - 2		1	Ť	T	(V)	-0:
Estado del arte					Н	0.7	32	-		7. 1	- 53	0.7	- 71	- 10	Н	10, 38	57	0.79	5 50	-	$\vdash$	20. 10	83	0.0		-	+	++	- 17	-
Establecer requerimientos	П					8 31	88	-88-		35 38	- 5	2 3	5 85	-8-	H	35 - 38		8 8	5 85			25	3	- 82-3	5 85	-	1		-	-
Cálculo y cotización de diseños							- 12							- 100	Н	10. 10.	7	0 0	5 5%			200	- 1	100		-	+	1	+	-
Medición de primeros resultados	H	9 8	3									0.0	-6	- 8	H	0 -	3	6 3	S 33			3 8	- 10	18-3	-0		-	10-10		+
Pruebas entre manga y microcontrolador	H	+	377	+	$\vdash$		- 10	+	+	-	-	1 1	- 17	+	Н			100 0	- 15					+	- 25	+	+	+	+	+
Definición de interfaces de usuario	H	8 8	3		-	8 4	6	-		0 10	- 23	8 8	S 6	8	H	3) - 18	70	8 3	6 6		П		- 33	100			+	0 -0	- 10	-
Recepción de datos	H	+	-	+	H		-55	+	H	× 4		1 5	-	+	H	20 43		14.5	- 15	+	H	-				+		H	+	+
Analisis de resultados obtenidos	H		-3	-	H	8 8	8	-		S-1		8-3		8	H	3 - 18	10	8 3	6.6	-		3 B	4		-0	+				
inimisis de l'estatados obtenidos		_			-				Di	coî	10			-	-					-	-		- 1.1	-						
Definición de requerimientos f y nf			T							JC 1			T	T		T	T			T		Ŧ	Ŧ	T		$\overline{}$	T		Ŧ	Ŧ
Modelado de componentes			50				7				+	1		+	$\forall$	20 1	1		- 10	+	$\forall$	+		1 -	+	+	+	+	$\pm$	+
Construcción de diagramas de clases		+	100				-			0 18			(8)	- 12	H	3 - 15	-	H	-6	-	H			-	9	-	+	H	+	+
Construcción del diagrama de casos de uso	H	$\pm$	200	+	П									+	H	* +	1		1 10	+	$\forall$				+	+	+	+	$\pm$	+
Construcción de diagramas de secuencia	П	+	(3)		H		0	400				8 8	100	10	H	37 - 38		13.3		-	H		- 24	- 13 - 3		-	+		-	+
Construcción de diagrama de actividades	H	$\pm$		1	$\vdash$										$\forall$		1				$\forall$	+			$\vdash$	$\pm$	+	+	$\pm$	+
constant at any and at attraction							F	olu	o.c	ón	de	тт	11						. 0						0.00					
Evaluación de TT1		-	_	-			V	atu	ac	OIL	ue	H	1				-		_	_	$\overline{}$	_	-	_		-	-		-	-
Evaluación de 111			-	-1	_															-				-		٠.	_			
				-	_			Ш	es	arr	ollo	)		_							_			_						_
Prototipo 1 Manga y sensores				4	1		_	4	1		-16			_	Н		Ų.			4	Н		-	1	$\vdash$	4	4	1	_	4
Medidas promedio y costos		3 5	- 8	3		8 8				82 3 8	60	8 8					08	2 80 0			Н	8 8	0	18.8	Н	3 15	-		- 8	- 8
Construcción de manga e implementación de sensores	4			4	-		-	4			100		-	-	$\perp$					_				+	$\vdash$	-	-	-	-	+
Prototipo 2 Comunicación con															Ш	ш														
microcontrolador	H		-	4	+	-	+	+	4	4	7/6	+	-	+						+	2		- 72	+	$\vdash$	-	+	1		+
Cambio de microcontrolador si es necesario	0	2 20	- 6%	3 - 0		8 8	83			87-316	0	18 8	- 3			8-16-	8	18 8				0	8	18 8	Н	3 15	13	03 - 31	-8-	- 18
Implementación me medios de conmunicación			-	4	+		-	+	+	2-9	-16	+		+	+	-	16	-	H			-			Н		+	+	-4	+
Prototipo 3 Comunicación con aplicación  Verificar comunicación entre los dispositivos	0	2 23	-88	3 - 0		8 8	- 3			8-3	63	18 8	- 0			S-31-	0	13 8		-									-8	8
Modelado		-	-	+	+		+	+			2.6		-	+	+	1	55			+	+			-		-	-	+ +	-	+
Programar la aplicación Android y que se comunique			- 8	3000			- 8	-	4	8-36	- 0	8 8	- 0				0	8 8		-							-	+ 1	-	-
con el microcontrolador	H	-	+	-				-							Н	-				-							+		-	+
Prototipo 4 Generación de reportes	-	2 18	-	3	+	5 8	- 8	-		8-3	6	8-8	-			-	0	13 - 83		-		-			П				-	-6-
Metodos de captura de datos y generación de	H		-	-	1		+	+	1	-	-16	+	H	+	+	++	**			÷	H	- 1	-8	+	Н					#
archivos				+																					Ш					+
Modelado de archivos y datos necesarios	H	-	Ť	+			-	+			-		H		Н		***			+	H			+	Н					Ŧ
							Ti	mn	en	1en	itac	·iói											_							
Retroalimentación de prototipo 1		T	T	T	T									T	П	T					П	T		T	П	T		П		T
Retroalimentación de prototipo 2		2 2		38-0		0-0	- 8	-			-61	10 9	- 0	+		35 34	6		- 8				(-)	-	H	2 32	-	H	- 63	-10-1
Retroalimentación de prototipo 3	H	-	+	+	H		+	+	1		- 100	+		+	Н	+	10		H	+	Н			1				+	-	+
Retroalimentación de prototipo 4		2 29		30-0		0 0	-			32.37	- 63	10 0	- 13	Ť			(2)	12 9			Н	30.	8	10 -	П		100			
Total Calaboration and prototage of					-			717	Dm	nel	oas	- 2/7 - 110					***	- 2/2 - 3/4					-				- //			
Prototino 1 Manga y canceros		100	133	140		00-10		- 41.5		ILEL	as	60 0		W	4	81 - 184 -	100	4			4	SI (V)	100	40		141	100	101 101	177	-
Prototipo 1 Manga y sensores	$\vdash$			-	+		+	+		$\vdash$		100	+	+	$\vdash$	7	7.0	2 2			+			+	$\forall$		-	+		100
Revisar costos y diseños correctos Prototipo 2 Comunicación		5 5	- 2	35.2		3 8	- 12		9		86	8 8	- 8			2 35	88	8. 3			+			13.7	$\forall$	8 15	3	100	100	-8-1
Protoupo 2 Comunicación Pruebas de conexión	H	S - 50		7	+		-	+			- 27	10.00	-	+	+	CE - 29 L	52		+	+	+		7	+	$\forall$	-	-	100	- 1	-
Prototipo 3 Comunicación con aplicación		8 8	-	3 5 7	-	8 8				$\vdash$	155	10.0	- 2	+		2 11	85	3 8				-	- 11	-				1	100	-
Recepción de datos con la aplicación Android	H		0	+	+		-				-57	10	- 10	+	+	Ç. 74.	59	10. 0	+	-	+	0 2	77	100				+	-	- 100
Prototipo 4 Generación de reportes		8 8	- 2	3 5 2		8 8	-	+			85	8.8		+	5	2 3 5	85	8 8	- 3			2 3	25	- 8 - 8			-			- 1
Protoupo 4 Generación del reportes  Pruebas de generación del reporte con el diseño final			-		H	V. 24	+	+		$\vdash$		10	+	+	$\forall$	7	20		$\vdash$	+	+		+	+	+		+			
Traces de generación del reporte con el disenó inidi							D	0.0	11.122	on	tac	ión																		
Generacion de manual de usuario		- 1		T			Т	TUC.		(elli	lat	UII		T			al .	8 I	2 2	T	1	Ŧ				- 10				
																										-	-			+
Generación el reporte técnico.									-			7700	24																	
		_	_				LV	alu	aci	on	de	Щ	2	Ţ.			_							_	_				-	4
Evaluación de TT2	4 [				1				1			1 1			1		1	1					- 1		1 1					

Arenas de la Calleja Carlos Eduardo	+			-	يبالل																لنسار	-	_	ليالي	Ь.		تاري		-	
		Ago			Septi				ctub				ibre					brer			arzo	_		Abril	_		May			Junio
Actividad Semanas	1	2	3	4 1	1 2	3	4	1	2 3	4	1 2	2 3	4	1	2 3	4	1 2	3	4	1 2	3	4	1 3	2 3	4	1	2	3 4	1	2 3
Investigación de rehabilitación del cod en niños				П	Т	П				П	П		П				T	T					T		П	П	T	Т	П	
Busqueda de los sensores que serán utilizados					10																						T		Ħ	
Investigación acerca de la conexión con											74								16 9					10.7					Ħ	- 1
microcontrolador conel dispositivo Android				ш		Ш				Ш																				
									Δr	ali	eie																			
Análisis general del problema				_	_				ли	ICTII	313	_	_	$\overline{}$	$\top$	П	_	_		$\top$			_	Т	Т		7	_	П	$\overline{}$
Estado del arte						H	8	86 . 59	-		85 /8	+	0.8	- 1		86 - 53	35	-18	8 9		2.8	- 23	-	2 8			- 100	+	H	36
Establecer requerimientos						Н		ec - 65	-	H	(C 2)	+	6 3	-		or 20	-	+	.C 0	+	0.5	-	-	6.3	H	H	+	+	+	
Análisis del acoplamiento del sensor y el				-		Н			-	H	-	+	1 1/4							+		-	-	-	1	+	+	+	+	-
microcontrolador en la manga	4																													
Definición de interfaces de usuario		Н	+		-	H				+	74 74	+	10 31	-			+	-		+						Н	-	+	+	. 70
Análisis de la correcta comunicación de la				-	100	H		4 4			50 10		5 8	+	-	S 0		-	8 8			-							+	7 24
	4																					- 1						4		
manga con la aplicación Android	9-6	9 9	+	-	8		0	33 - 33	-		3-9	+	8-6	-9	-	9 3	-1	-	0 3	-	0,0		-	+	-				+	0 50
Definición de Interfaces de Usuario	- ×		-	+	10			84 S		H	2 4	-	E 8		-	× 5	-	+	× 5	-	0 N	-	- 10				+			- 10
Análisis de los reportes generados		Ш	4	4		Ш	_					4	4		1	1	- 3)	-1		1			- 4:	1	_		4	4	Н	_
				100					D	iseî	10	.,.		- 4	-								.,,							
Definición de requerimientos F y NF																												$\perp$		
Modelado de Componentes																													Ш	
Construcción de diagramas de clases										Ш															П	П			Ш	
Construcción de diagramas de casos de uso					**														1										$\coprod$	8
Construcción de diagramas de secuencia	10				0		ő	3 8					0.0			0 3		ľ				8					- 0		$\sqcup$	20
Construcción de diagrama de actividades																														
							Ev	alı	ıac	ión	de	T	Γ1																	
Evaluación de TT1	Г		П		7/2					П								T				T				П	T		П	
			_	-				Т	200	arr	مالد				-		-	-				_	-		_					
	-		-	-	-				Jes	all	OHC	)	-		-			-		-	_	-	-	-	_		_	4	-	_
Prototipo 1 - Manga y sensores	-	Н	4		-	Н			-			+	10 70	-	-							_	-			Н	+	+	$\vdash$	-
Investigacion de los materiales para no irritar la piel				-				2 2	-	$\vdash$	3 5	+	5 8	-						+				5.5	H		+		+	3 38
Construir la manga para la implementación de sensore	S		-					3 3			0 0		8 6	-					0.0		1000						-	+	+	5 55
Prototipo 2 - Comunicación con																														
microcontrolador	9.8		-	- 10	8		8	8 3	-		8 8		8 8		-	8.9	-			-	4 0	- 3		2.5	- 8		- 10	_	+	86
Analizar si se requiere un cambio de materiales	-	Н	+	6	2	Н		K 4			0.7		(i) (i)	-		0.0		-		-				6.7				-	+	
Construir el circuito que comunique los sensores de la				-	-					$\vdash$	-	-		-	-			-								-	+	-	+	-
manga al microcontrolador	-	Н	4	+	+	Н			+	$\vdash$	+	+	-	$\perp$	-		+	+		-			-		_		+	_	+	-
Prototipo 3 Comunicación con aplicación	-	Н	4	+	+	Н			+	Н		+		-	-		+	+		+		-			H		+	_	+	
Analizar si el circuito es el adecuado				+				8 8		$\vdash$		+	5 10					-		-	5 8	-				Н	+	_	+	d 28
Modelado			4	+				3 - 5				-	0.0			3 3		-	0.0	-	8 0						-	_	+	3 50
Programar la aplicación Android y que se comunique	-			-																			-1				H	_	1	-
con el microcontrolador			-	-	No.			× 5			8 4	-	E 8		-	× 5	- 1	+	× 5		0 N	- 4					4	-	$\vdash$	b   150
Prototipo 4 Generación de reportes	-	Н	+	-	-				+	$\vdash$	-		10.00	-	+		+	+		+		-	+	-			4			+
Analizar los algoritmos utilizados para los datos	_	H	+	-	-	Н	$\vdash$		-	$\vdash$	-	-	10.00	-	+		+	+		+	1	-	+	-	H	Н	-	-	$\vdash$	-
Elección de los datos que vamos a mostrar en el report	е	Н	-	+	-	Н	$\vdash$		+	$\vdash$	-	-	-	-	-		+	+		+		-	-	-	⊢	Н	-	-	$\vdash$	+
Programar la función que genere el reporte			- 45	-	Ale					A		. ,	20 Ale		197	975 - 16	- 10	7/5	9/2 10	(4)		- 20		Ar a			4		Ш	170
							I	mp	ler	nen	itac	101	n																	
Retroalimentación de Prototipo 1																														
Retroalimentación de Prototipo 2					60			9 TO	1	0	30 - 31 33 - 91		8 6			0 3	1	18	9 8								- 0		$\Box$	20
Retroalimentación de Prototipo 3					100			86 5			26 - 81		2 8			8 5	3		× 9		2 8			2.8				- 3		3 34
Retroalimentación de Prototipo 4																														
									Pr	ueb	as																			
Prototipo 1 Manga y sensores	Table 10			- 111			1 July 1	T					300 30	45.						180	300	T		No. 1	Ħ		- Vic			- U
Revisar que los materiales resisten y sean óptimos	1	H	+	+	1	$\vdash$	7	+	+	$\vdash$	+	+	+	+	+	$\forall$	+			+	H	$\dashv$	+	+	H	$\vdash$	+	+	$\forall$	+
Prototipo 2 Comunicación	1	H	+	-	+	$\vdash$			+	-	+	+		+	-	+	+		$\vdash$	+				+	H	$\vdash$	+	+	+	+
Pruebas de conexión		H	+	-	+	$\vdash$		+	+	7	+	+	1	+	-		+	+	H	+				10.0	Н		+	+	$\forall$	+
Prototipo 3 Comunicación con aplicación	-	H	-	-	+		- 21	-	-	5 8	+	+	8 8	-	-		-	10.00	H	-	2 2	-		8.3	H		+	+	$\forall$	
Pruebas de conexión con la aplicacion Android		H	+	-	+		8 8	-	+	100	+	-	10 10		8 4	$\vdash$	+	100	H	+	0.0	+	- 8	10 1			-	+	+	
	-	H		0	25	2	2-6	8	-	18 6	+	8	50 ys	- 3	8 6			X 9			33 78	+	- 12	20 2	H			-		
Prototipo 4 Generación de reportes Pruebas de generación del reporte con el diseño final		H		2	+		2 8		+	8 8	+		2 3	÷	5 8		+	2 8				-	- Es	8 3		$\vdash$	- 1	+		
Fruevas de generación del reporte con el diseño final	4	Н	_	1	_		- 24					.,		_		Щ		_	Щ	_		_	1		Ļ	<u> </u>	+	4		
							- 1	200	cun	nen	tac	10I	1							.,.										
Generacion de Manual de Usuario		$\Box$																												
Generación el Reporte Técnico.																														
							Ex	alı	iac	ión	de	T	Γ2																	
Evaluación de TT2				T								T	M		T			T				T		T						
	-	1 I			1														$\perp \perp$				I							

	Λ-	oot-	C	tiembre		ot-1-		Mari	iembre	D	nice	ober	E-1-		- 1	An	+		hei!	+	3.0	0		Tyres	
Actividad Semanas		osto 3 4	-			ctubr			embre 3 4				Feb:		_	Marz 2 3	_	1 2	bril	4 1	1 2	ayo 3	4 1	Juni 2	3
Actividad Semanas	1 2	3 4	1   2	2 3 4	111					1	2.	3 4 1	1 2	3 4	1	2 3	4	1   2	3	4 .	1 2	3	4 1	2   :	3
T						THIX	7(6)8	HEE	ició1		_		_	_	_	_		_		_	_	_			_
Investigación de sensores Elección de sensores																									
Investigar tipos de microcontrolador y sus			-	1	1 10	-	H	*	++		+	1	9 49 33	-	- 8	+	H	-	+	-	- 10	H	2.5		+
aracteristicas			ш																						
Elección de microcontrolador					34 8						100			ĵ							18	8 8	- 8		
Investigar tipos de comunicación entre los							П								П		П		П			П			
sensores y el microcontrolador.							Ш		Ш						Ш		Ш		Ш	$\perp$		Ш			┙
							An	ali	sis																
Modelado de prototipo					TT		П	Т	П	П	T	TI			П	T	П		П	П		П		П	Т
Análisis de dispositivos electrónicos							Ш			Ш	_				Ш		Ш		Ш			Ш			4
Investigación de prototipos similares																									
Tabla comparativa	0 0		0.00		31 - 61	10.0		3)—32	4	9	-10	9	0 18 18	- 8	8-6	0	H	9-36-3		-36-	6	12 - 51	9	8 3	
Planteamiento del prototipo Diseño de los circuitos para la señal				-		+	H	-	++-	+	+	+		-		+	H	*	+	1	10	$\vdash$		+ +	+
de entrada de los sensores																									
Análisis de resultados arrojados por el	- 0	13-8	3-31	1	31 - 63	-10-0	П	99-38-				4		100	-	- 6	Ħ	3-1-		5-38	0	13 8	- 0	100	-
rototipo 1							Ш			Ш							Ш		Ш		200				
Análisis de resultados arrojados por el							П			$\prod$	T								П						T
prototipo 2			10, 10		7 2	16.00	$\sqcup$			$\sqcup$	-								H		- 20			+	4
Análisis de resultados arrojados por el prototipo 3																			Ш						
Realizar bosquejos para la intefaz de usuario		2 9	3)—35		3 - 6	10-9	H	3)—1):—		0-0	- 0		0 18 18		8-6	0	H	3-1-	H	0.00	2		0		+
Análisis de resultados arrojados por el	+	++		1	-		$\forall$	**	1	++	1	+	-	+	+	+	$\forall$		Н		-				+
prototipo 3																									
							Di	seî	0																
Realizar tabla comparativa de requerimientos							H	101		Т	Ť	1 1		- 1	П	T	П	- 1	П	Ŧ	Ť	T		Т	一
y NF																									
Análisis de diagramas de secuencia			3 15							8	18				3-6	1		3-15-			0	8 8	3		
Análisis de diagramas de actividades											T						П		П			П			T
	N	100 m	Mr. 160	-16 AF	Ex	za In	ac	ión	de T	Т1		44		- 1	A	200	(S) - 51	in the		200	- 112	20.00	46	100	- 6
Evaluación de TT1			T	- IQ OIL										- 1	- V/-	Ť	Ħ			7	95	П		T	Ť
Svaldacion de 111	(1 - x)E	A 10	96 (6)	17 11	100 M	9			ollo		- (1)		5 - 65 - 51	472	10 - 11	- 24	10 21	6 10	(F - 5)	- 40	- 11	W 10	1/2	160	- 41
Divers Color de constales 1	N. 19	T	T T	1 1	450 7/4	ш	ES	4111	DIIO	9 24	-				40.00	-		-	11	- 45	- 14	11	4 145	-	- 1
Diseño físico de prototipo 1		10 01	70. 35	0	70. 70	10.00	Н	× 18	-		-	-		-		-	Н		+	-	52		- 20	+ +	+
Modelar prototipo 1  Construcción de prototipo 1	0	10 0	33 -38	8 8	35 - 65	10-0	H	3)—13	+	9-8	-10	9			0-0	- 0	H	3-35-3		-35-	6	12 9	3	15 - 55	
Programación del microcontrolador	-	++	8 4	7 1	10 10	-	H	-	++		+	1					H	<del>- 1</del>	H	- 1	-10	H	- 27		+
						- 1	1 1		1 1	1 1	- 1	- 1 - 1						- 1			- 1	1 1		1 1	
			1 1		1 1							- 1 - 1			Ш							1 1	l I	1 1	- 10
Comunicación con el microcontrolador  Modelar prototino 2	k 85	13 (1	85.28	-	16 8	-8-8			31 62	15 15	- 6		30 00	100						2 85	85	45 8	- 8	16 9	T
Modelar prototipo 2			20 36	7 1	34 35						- 8									2 34	10		- 31	28 38	1
Modelar prototipo 2 Construcción de prototipo 2			3 16 3 18	3 2																		5 /			
Modelar prototipo 2 Construcción de prototipo 2 Prototipo 3 Comunicación con aplicación											8		0 8 13							2 8 5		0 0			
Modelar prototipo 2 Construcción de prototipo 2 Prototipo 3 Comunicación con aplicación Modelar prototipo 3											100														
Modelar prototipo 2 Construcción de prototipo 2 Prototipo 3 Comunicación con aplicación Modelar prototipo 3 Construcción de prototipo 3						0 0					8														
Modelar prototipo 2 Construcción de prototipo 2 Prototipo 3 Comunicación con aplicación Modelar prototipo 3 Construcción de prototipo 3 Prototipo 4 Generación de reportes						8 8							2 8 7 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8												
Modelar prototipo 2 Construcción de prototipo 2 Prototipo 3 Comunicación con aplicación Modelar prototipo 3 Construcción de prototipo 3 Prototipo 4 Generación de reportes Modelar prototipo 4																									
Modelar prototipo 2 Construcción de prototipo 2 Prototipo 3 Comunicación con aplicación Modelar prototipo 3 Construcción de prototipo 3 Prototipo 4 Generación de reportes Modelar prototipo 4							le p		tació																
Modelar prototipo 2 Construcción de prototipo 2 Prototipo 3 Comunicación con aplicación Modelar prototipo 3 Construcción de prototipo 3 Prototipo 4 Generación de reportes Modelar prototipo 4 Construcción de prototipo 4						mp	len	nen	tació	on.															
Modelar prototipo 2 Construcción de prototipo 2 Prototipo 3 Comunicación con aplicación Modelar prototipo 3 Construcción de prototipo 3 Prototipo 4 Generación de reportes Modelar prototipo 4 Construcción de prototipo 4 Análisis para retroalimentación de					1	mp	len	nen	tació	on.															
Modelar prototipo 2 Construcción de prototipo 2 Prototipo 3 Comunicación con aplicación Modelar prototipo 3 Construcción de prototipo 3 Prototipo 4 Generación de reportes Modelar prototipo 4 Construcción de prototipo 4 Análisis para retroalimentación de prototipo 1						mp	len	nen	tacio	on .															
Modelar prototipo 2 Construcción de prototipo 2 Prototipo 3 Comunicación con aplicación Modelar prototipo 3 Construcción de prototipo 3 Prototipo 4 Generación de reportes Modelar prototipo 4 Construcción de prototipo 4 Análisis para retroalimentación de prototipo 1 Análisis para retroalimentación de prototipo 2						mp	len	nen	tació	ón															
Modelar prototipo 2 Construcción de prototipo 2 rototipo 3 Comunicación con aplicación Modelar prototipo 3 Construcción de prototipo 3 rototipo 4 Generación de reportes Modelar prototipo 4 Construcción de prototipo 4 Análisis para retroalimentación de prototipo 1 Análisis para retroalimentación de prototipo 2 Análisis para retroalimentación de					I	mpl	len	nen	tacio	on .															
Modelar prototipo 2 Construcción de prototipo 2 rototipo 3 Comunicación con aplicación Modelar prototipo 3 Construcción de prototipo 3 rototipo 4 Generación de reportes Modelar prototipo 4 Construcción de prototipo 4 Análisis para retroalimentación de rototipo 1 Análisis para retroalimentación de rototipo 2 Análisis para retroalimentación de rototipo 2 Análisis para retroalimentación de rototipo 3					I	mp	len	nen	tació	on .															
Modelar prototipo 2 Construcción de prototipo 2 rototipo 3 Comunicación con aplicación Modelar prototipo 3 Construcción de prototipo 3 rototipo 4 Generación de reportes Modelar prototipo 4 Construcción de prototipo 4 Análisis para retroalimentación de prototipo 1 Análisis para retroalimentación de prototipo 2 Análisis para retroalimentación de prototipo 3					I	mp	len	nen	tació	on .															
Modelar prototipo 2 Construcción de prototipo 2 rototipo 3 Comunicación con aplicación Modelar prototipo 3 Construcción de prototipo 3 rototipo 4 Generación de reportes Modelar prototipo 4 Construcción de prototipo 4 Análisis para retroalimentación de prototipo 1 Análisis para retroalimentación de prototipo 2 Análisis para retroalimentación de prototipo 3					I					on .															
Modelar prototipo 2 Construcción de prototipo 2 Prototipo 3 Comunicación con aplicación Modelar prototipo 3 Construcción de prototipo 3 Prototipo 4 Generación de reportes Modelar prototipo 4 Construcción de prototipo 4 Análisis para retroalimentación de prototipo 1 Análisis para retroalimentación de prototipo 2 Análisis para retroalimentación de prototipo 3 Análisis para retroalimentación de prototipo 3 Análisis para retroalimentación de prototipo 3 Análisis para retroalimentación de prototipo 4					I			nen		on .															
Modelar prototipo 2 Construcción de prototipo 2 Prototipo 3 Comunicación con aplicación Modelar prototipo 3 Construcción de prototipo 3 Prototipo 4 Generación de reportes Modelar prototipo 4 Construcción de prototipo 4 Análisis para retroalimentación de prototipo 1 Análisis para retroalimentación de prototipo 2 Análisis para retroalimentación de prototipo 3 Análisis para retroalimentación de prototipo 3 Análisis para retroalimentación de prototipo 4  Realizar pruebas y enlistar ajustes del					I					on .															
Modelar prototipo 2 Construcción de prototipo 2 Prototipo 3 Comunicación con aplicación Modelar prototipo 3 Construcción de prototipo 3 Prototipo 4 Generación de reportes Modelar prototipo 4 Construcción de prototipo 4 Análisis para retroalimentación de prototipo 1 Análisis para retroalimentación de prototipo 2 Análisis para retroalimentación de prototipo 3 Análisis para retroalimentación de prototipo 3 Análisis para retroalimentación de prototipo 4  Realizar pruebas y enlistar ajustes del Prototipo 1 Manga y sensores					1					on .															
Modelar prototipo 2 Construcción de prototipo 2 Prototipo 3 Comunicación con aplicación Modelar prototipo 3 Construcción de prototipo 3 Prototipo 4 Generación de reportes Modelar prototipo 4 Construcción de prototipo 4 Análisis para retroalimentación de prototipo 1 Análisis para retroalimentación de prototipo 2 Análisis para retroalimentación de prototipo 3 Análisis para retroalimentación de prototipo 3 Análisis para retroalimentación de prototipo 4 Realizar pruebas y enlistar ajustes del Prototipo 1 Manga y sensores Realizar pruebas y enlistar ajustes del					1					in a second															
Modelar prototipo 2 Construcción de prototipo 2 Prototipo 3 Comunicación con aplicación Modelar prototipo 3 Construcción de prototipo 3 Prototipo 4 Generación de reportes Modelar prototipo 4 Construcción de prototipo 4 Análisis para retroalimentación de prototipo 1 Análisis para retroalimentación de prototipo 2 Análisis para retroalimentación de prototipo 3 Análisis para retroalimentación de prototipo 3 Análisis para retroalimentación de prototipo 4 Realizar pruebas y enlistar ajustes del Prototipo 1 Manga y sensores Realizar pruebas y enlistar ajustes del Prototipo 2 Comunicación					1					on .															
Modelar prototipo 2 Construcción de prototipo 2 Prototipo 3 Comunicación con aplicación Modelar prototipo 3 Construcción de prototipo 3 Prototipo 4 Generación de reportes Modelar prototipo 4 Construcción de prototipo 4 Análisis para retroalimentación de prototipo 1 Análisis para retroalimentación de prototipo 2 Análisis para retroalimentación de prototipo 3 Análisis para retroalimentación de prototipo 3 Análisis para retroalimentación de prototipo 4  Realizar pruebas y enlistar ajustes del Prototipo 1 Manga y sensores Realizar pruebas y enlistar ajustes del					1					in a second															
Modelar prototipo 2 Construcción de prototipo 2 Prototipo 3 Comunicación con aplicación Modelar prototipo 3 Construcción de prototipo 3 Prototipo 4 Generación de reportes Modelar prototipo 4 Construcción de prototipo 4 Análisis para retroalimentación de prototipo 1 Análisis para retroalimentación de prototipo 2 Análisis para retroalimentación de prototipo 3 Análisis para retroalimentación de prototipo 4  Realizar pruebas y enlistar ajustes del Prototipo 1 Manga y sensores Realizar pruebas y enlistar ajustes del Prototipo 2 Comunicación Realizar pruebas y enlistar ajustes del Prototipo 2 Comunicación Realizar pruebas y enlistar ajustes del Prototipo 2 Comunicación Realizar pruebas y enlistar ajustes del					1					in a second seco															

#### 7. Referencias

- [1]J. L. Olmedo, Fracturas infantiles más frecuentes. Esguinces y epifisiolisis, Unidad de Ortopedia Infantil del Complejo Asistencial Universitario de Salamanca, 2019, Pp. 15. [Online].Disponible: https://www.pediatriaintegral.es/wp-content/uploads/2019/xxiii04/06/n4-221e1-14\_JorgeLopez.pdf
- [2]Universidad de la Concordia (2019, Oct 31). ¿En qué consiste la rehabilitación física? (1ra ed.) [Online]. Disponible: https://www.universidadlaconcordia.edu.mx/blog/index.php/rehabilitacion-fisica/
- [3]J. Alfonso Mantilla y J. Martínez Santa, Innovación y Tecnología en Fisioterapia Futuras herramientas de intervención, Rev. MC, vol. 11, n.º 1, pp. 37-43, feb. 2017. [Online].Disponible: https://revmovimientocientifico.ibero.edu.co/article/view/mct.11105
- [4]Rodríguez-Martínez JJ, Mora-Ríos FG, Mejía-Rohenes LC.Frecuencia de codo traumático pediátrico en el Hospital Regional General Ignacio Zaragoza. Rev Esp Med Quir. 2018; 23(2): 87-92. [Online]. Disponible: https://www.medigraphic.com/pdfs/quirurgicas/rmq-2018/rmq182b.pdf
- [5]Farrow L, Ablett AD, Mills L, Barker S. Early versus delayed surgery for paediatric supracondylar humeral fractures in the absence of vascular compromise. Bone Joint J. 2018; 100: 1535-41.
- [6]Barrón EA, Sánchez JF, Cruz JR. Perfil clínico-epidemiológico de las fracturas supracondíleas de húmero en pacientes pediátricos en un hospital general regional. Cirugía y Cirujanos. 2015; 83 (1): 29-34. [Online]. Disponible: https://www.redalyc.org/pdf/662/66242703006.pdf
- [7]Corres IA, Torres A. Clasificación de las fracturas supracondíleas en niños: Gartland, AO y Holmberg. ¿Cuál tiene el mayor acuerdo interobservador? Acta Ortop Mex. 2015; 29(6): 299-302. [Online]. Disponible: https://www.medigraphic.com/pdfs/ortope/or-2015/or156d.pdf
- [8]T. Cortés, B. Manrique y J. Torrejón, "Desarrollo de interfaz gráfica con sistema embebido para prototipo de rehabilitación pasiva de brazo", *ResearchGate*, 2017. [Online].Disponible:https://www.researchgate.net/publication/319406133\_Desarrollo\_de\_interfaz\_grafica\_con\_sistema\_embebido\_para\_prototipo\_de\_rehabilitacion\_pasiva\_de\_brazo.
- [9]J. Revelo Burbano, "Prototipo rehabilitador pasivo de codo para asistencia en actividades de fisioterapia", Licenciatura, Universidad Técnica del Norte, 2017. [Online].Disponible:https://core.ac.uk/download/pdf/200324433.pdf
- [10]ORLIMAN, Ortesis de codo Elbowlution, (2018, Junio), [Online]. Disponible: https://www.orliman.com/producto/ortesis-codo-elbowlution/
- [11]O. R. Christian Jonnathan y P. G. Carlos Fernando, "Sistema servo-mecánico para rehabilitación en codo y muñeca", Trabajo de titulación, [Online]. Disponible: https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/17384/1/UPS-CT008299.pdf
- [12]Barrón-Torres, Erika Alejandrina; Sánchez-Cruz, Juan Francisco; Cruz-Meléndez, José Ramses, "Perfil clínico-epidemiológico de las fracturas supracondíleas de húmero en pacientes pediátricos en un hospital general regional", Cirugía y Cirujanos, vol. 83, núm. 1, 2015, pp. 29-34 Academia Mexicana de Cirugía, A.C. Distrito Federal, México.[Online].Disponible: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=66242703006
- [13] Cervantes Ojeda, J.; Gómez Fuentes, María del Carmen, Taxonomía de los modelos y metodologías de desarrollo de software más utilizados, Universidades, núm. 52, enero-marzo, 2012, pp. 37-47 Unión de

Universidades de América Latina y el Caribe Distrito Federal, Organismo Internacional [Online].Disponible:https://www.redalyc.org/pdf/373/37326902005.pdf

## 8. Alumnos y directores

Arenas de la Calleja Carlos Eduardo Alumno de la carrera de Ing. en Sistemas Computacionales en ESCOM, Especialidad Sistemas, Boleta:2017630091, Tel.7821654866,email carenasd1601@alumno.ipn.mx Firma:
Ortiz Meraz Isaac Baruch Alumno de la carrera de Ing. en Sistemas Computacionales en ESCOM, Especialidad Sistemas, Boleta: 2014081135, Tel. 5515055134, email iortizm1301@alumno.ipn.mx Firma:
González Platón Pedro Alumno de la carrera de Ing. en Sistemas Computacionales en ESCOM, Especialidad en Sistemas, Boleta: 2016630185, Tel.5518263889, email gonzalezp1400@alumno.ipn.mx Firma:
María del Rosario Rocha Bernabé Profesora de ESCOM del IPN, Ingeniero en Comunicaciones y Electrónica, Maestría en Instrumentación Electrónica. Arenas de Interés: Control e Instrumentación, Investigación Educativa, email rrocha@ipn.mx Firma:
Laura Méndez Segundo Profesora Titular C en la ESCOM, Licenciada en Informática por la Universidad Veracruzana, Maestría en Ing. Eléctrica especialidad computación CINVESTAV-IPN. Directora de trabajos terminales. Áreas de interés: Ingeniería de Software, Bases de Datos, Análisis y Diseño Orientado a Objetos, Cómputo educativo, realidad virtual y realidad aumentada. email: lmendezs@ipn.mx

CARÁCTER: Confidencial FUNDAMENTO LEGAL: Artículo 11 Fracc. V y Artículos 108, 113 y 117 de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública. PARTES CONFIDENCIALES: Número de boleta y teléfono.

