

Sistema robótico de rehabilitación terapéutica para extremidades superiores de pacientes con discapacidad motriz

Robotic therapeutic rehabilitation system for upper limbs of patients with motor disabilities

Raúl Hernández-Rivera¹, Pablo Iván Romero-de-la-Rosa¹, Leodegario Gonzalo Aguilera-Hernández¹

¹ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca, Veracruz, México.

Recibido: 09-11-2019

Aceptado: 09-12-2019

Autor corresponsal: pablin.romero@hotmail.com

Resumen

El presente trabajo muestra la creación del modelo de un robot asistencial enfocado al apoyo a la rehabilitación de extremidades superiores del cuerpo para su posterior análisis y aplicación.

Para ello se realizó una investigación enfocada a la necesidad de la rehabilitación terapéutica y de la anatomía del cuerpo con lo que se planteó el diseño de un prototipo que satisficiera la necesidad de la rehabilitación en pacientes con un problema en las extremidades superiores del cuerpo, para esto se realizó una encuesta estadística de las medidas de las extremidades superiores del cuerpo a una muestra de 72 persona entre 18 y 21 años para determinar las medidas aproximadas del prototipo rehabilitador, posteriormente el diseño se realizó en el programa SolidWorks y se analizaron su propiedades físicas y mecánicas, además se planteó la parte mecánica con la elección de motorreductores, para e apartado de control se utiliza la placa Arduino uno que comanda la el sistema de control, para la adquisición de los datos se emplearon Encoders magnéticos que envían la señal a la placa Arduino.

Palabras clave: Sistema robótico, rehabilitación terapéutica, extremidades superiores, SolidWorks y Arduino.

Abstract

The present work shows the creation of the model of an assistance robot focused on supporting the rehabilitation of the upper extremities of the body for later analysis and application. For this purpose, an investigation focused on the need for therapeutic rehabilitation and the anatomy of the body was carried out, which proposed the design of a prototype that would satisfy the need for rehabilitation in patients with a problem in the upper extremities of the body, to This was a statistical survey of the measurements of the upper extremities of the body to a sample of 72 people between 18 and 21 years to determine the approximate measures of the rehabilitative prototype, then the design was performed in the SolidWorks program and its physical properties were analyzed and mechanical, in addition the mechanical part was raised with the choice of gearmotors, for the control section the Arduino plate is used that commands the control system, for the acquisition of the data, magnetic encoders that send the signal to the arduino board.

Keywords: Robotic system, therapeutic rehabilitation, upper limbs, SolidWorks and Arduino.

Introducción

Es inevitable que con el auge de la tecnología y los avances en la investigación médica se realicen mejores prácticas y formas de cómo llevar a cabo las terapias que se involucran en la rehabilitación de personas que sufren de algún padecimiento causado por la inmovilización de las articulaciones de alguna parte de su cuerpo, especialmente de las extremidades superiores a sea por padecimientos de la edad o por alguna enfermedad cerebrovascular, ya que estas extremidades son la respónsables de realizar distintas tareas. El avance tecnológico tanto de la robótica como de la mecatrónica, así como las investigaciones médicas realizadas a la actualidad nos permiten generar un panorama de utilización de robots asistenciales para llevar acabo la rehabilitación y en particular de extremidades superiores. En este sentido, cabría preguntarse, qué características biomecánicas tiene el complejo articular de las extremidades superiores, cuáles son las fracturas más frecuentes que los afectan, como se tratan y las ventajas que tiene la rehabilitación actual frente a estos casos, para ello el sistema rehabilitador se enfoca en la rehabilitación de extremidades superiores y podrá llevar acabo la rehabilitación correspondiente a los pacientes de manera supervisada por el especialista reduciendo los tiempos de rehabilitación contribuyendo así a las terapias para las que se emplee.

Esta revisión pretende actualizar sobre algunos aspectos relacionados con las articulaciones superiores, tales como biomecánica del complejo articular, clasificación de las fracturas, epidemiología de la lesión y el papel de los materiales de osteosíntesis y en especial de los sistemas robóticos asistenciales en la corrección de las fracturas inestables que afectan el complejo articular de las extremidades superior. (González, 2016)

El análisis biomecánico se realizó identificando los cinco grados de libertad del miembro superior, estos grados de libertad son; abducción y aducción del hombro, flexión y extensión del hombro, rotación interna y externa del húmero, flexión y extensión del codo y pronación y supinación de la mano. Con estos grados de libertad se logran la mayoría de los movimientos necesarios del miembro superior, exceptuando los movimientos de la mano. (Gerard J. Tortora, 1996)

De la misma forma, se obtuvieron los centros de gravedad del miembro superior. (Moreno, 1999)

Tabla 1. Peso de segmentos extremidad superior.

Segmento	Peso relativo	Localización del centro de gravedad
Brazo	0.026	51.3% al eje del hombro 48.7% al eje del codo
Antebrazo	0.016	39% al eje del codo 61% al eje de la muñeca
Mano	0.007	82% al eje de la muñeca 18% a la tercera falange

Fuente: los Autores.

Tabla 2. Torque de las extremidades superiores.

Peso (Kg)	Torque flexión hombro (Nm)	Torque rotación humero (Nm)	Torque flexión codo (Nm)	Torque pronación mano (Nm)	Torque abducción hombro (Nm)
50	7.29	4.87	0.615	0.480	7.29
60	8.73	5.84	0.737	0.510	8.73
100	14.5	9.68	1.23	0.734	14.5

Fuente: los Autores.

Extremidad superior del cuerpo humano

La extremidad superior se relaciona con la cara lateral de la porción inferior del cuello. Se une al tronco mediante músculos y una pequeña articulación esquelética situada entre la clavícula y el esternón, la extremidad superior se divide en hombro, brazo, antebrazo y mano.

El hombro es la zona de la extremidad superior que se une al tronco.

El brazo es la zona de la extremidad superior situada entre el hombro y la articulación del codo.

El antebrazo se encuentra entre la articulación del codo y la de la muñeca. La mano es la parte distal a la articulación de la muñeca. (Richard L. Drake, 2015).

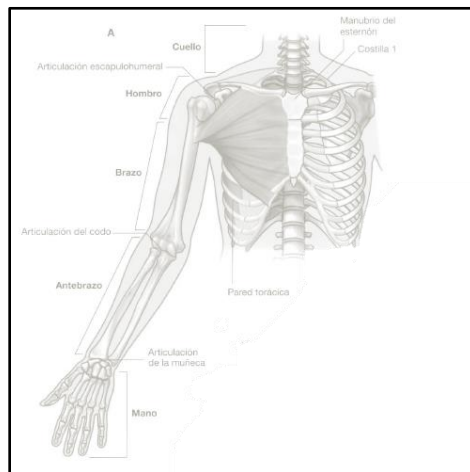


Figura 1. Vista anterior de la extremidad superior.

Fuente: Drake, Vogl, & W. (2005)

Materiales y métodos

Para realizar el análisis estadístico y así determinar la medida estándar de un brazo y establecer la mediada del sistema robótico de rehabilitación se consideró una muestra tomada en la institución a alumnos y maestros, este análisis fue realizado por la división de ingeniería industrial de la institución y se retomaron los datos más relevantes para nuestra investigación.

Tabla 3. Concentrado de las medidas antropométricas obtenidas por la población.

DATOS PERSONALES		POSICION SENTADO												POSICION DE PIE				
NOMBRE	EDAD	AP	SP	SR	MA	MS	CA	AminB	AmaxB	AOs	ACs	CC	RP	RA	E	CSp	AOp	Anhh
FERNANDO DE LA CRUZ CARBALLO	19 años	40.5	39.1	56.1	13.7	54.5	23	44.1	71.2	110.8	34.2	48.3	22.5	20.4	162	100.1	149.7	39.1
LUIS EDUARDO GONZALES HERNANDEZ	18 años	41.6	45	58.4	16.5	59.2	24.3	43.2	73.2	118.1	43.4	65.9	23.7	22.1	167	102.7	153.5	40.7
FRANISCO DE JESUS GOMEZ CARDENAS	18 años	46.2	44.2	59.1	14.6	59.4	16.4	48.1	81	119.4	35.6	47.4	19.6	14.3	174.6	103.7	158.8	43.1
JOSE ENRIQUE LOPEZ MERAZ	18 años	45.6	42.4	55.1	14.7	59.5	22.4	45.6	75.1	119.6	40.2	55.3	18.2	17.5	169.6	103.6	156.8	36.7
DIEGO ARMANDO JUAREZ PEREZ	18 años	47.2	46.7	58.6	17.6	61.4	22.6	45.8	78.9	1121.4	40.9	58.8	22.4	21.7	179.7	110.7	166.2	42.3
CRISTIAN MICHAEL LEON QUINTANILLA	18 años	46.6	47.1	58.1	15.2	59.8	25.4	48.6	78.2	122.2	37.5	52.7	22.2	20.8	177.9	109.9	136.3	42.1
AMAIRANY DEL ROCIO SOSA FUENTES	19 años	39.7	45.2	53.2	14.7	57.7	23.6	42.2	70.2	123.1	38.4	49.4	22.4	18.3	159.1	96.7	147.3	40.4
LUIS FERNANDO VIDAURRI GOMEZ	19 años	44.2	43.7	56.4	14.2	58.3	21.2	43.8	76.3	1199	38.2	56.2	23.4	22.4	170.9	105.9	158.6	39.3
ERICK ALBERTO LOYDE GAMBOA	18 años	44.6	42.3	51.6	14.4	58.4	25.4	48.2	70.7	123.6	36.6	45.4	22.2	20.8	166.5	102.6	156.1	38.6
SERGIO EMILIO ANTONIO SUASTES	20 años	50.3	53.1	54.3	16.6	61.7	28.9	51.7	82.6	126	42.4	51.2	23.8	23	186.6	115.6	163.2	40.1
RUBEN DEL ANGEL PEREZ	19 años	44.9	47.9	58.8	12.7	58.9	22.1	49.6	74.8	122.1	38.9	57.2	24.2	22.2	167.1	104.3	156.6	38.1
JOSE ALFREDO MOLAR GUERRERO	18 años	42.6	46	54.7	15.8	60.2	19.4	41.6	70.9	116.2	36.9	51.4	20.2	19	164.4	103.2	152.9	34.6
DAVID DEL ANGEL INOCENCIO	19 años	42.4	44.6	55.6	13.9	56.9	21.6	44.7	69.2	116.9	36.7	49.6	21.3	19.7	159.6	98.6	148.4	38.4
MAYRA LIZBETH SANTIAGO HERNANDEZ	18 años	40.4	42.6	53.2	12.4	56.2	25.2	41.9	66.6	110.3	39.2	48.2	22.9	18.3	153.6	97.2	141.4	34.7
HUGO MARCOS SAN JUAN	18 años	46.4	51.8	60.9	14.2	57.6	22.2	46.2	68.4	118.4	37.2	51.2	22.6	21.2	172.7	105.6	159.1	43.1
CARLOS ALONSO RIVERA	18 años	41.2	47.2	53.9	12.4	54.1	25.8	39.9	73.2	114.1	31.9	47.4	28.8	18.6	167.7	105.9	153.3	36.6
MAURICIO MORALES GUZMAN	18 años	43.1	48.6	59.1	12.6	55.7	23.4	42.8	78.1	117.3	33.9	52.1	21.3	20.6	168.7	104.6	155.5	35.8
ERNESTO ARRIETA MORALES	18 años	47.2	49.2	61.1	13.9	58.4	26.8	42.9	76.8	123.6	39.6	61.4	24.8	24.5	175.4	109.1	161.3	45.2
DANIELA DE LA CRUZ CRUZ	19 años	37.9	48.9	57.8	14.8	50.7	19.9	44.4	72.4	106.4	39.4	48.9	24.1	23.2	154.1	92.1	140.7	35.2
JOSE ANDRES IGNACIO BALTAZAR CRUZ	18 años	36.3	45.4	54.9	15.9	49.6	29.1	42.3	70.9	113.1	34.1	48.4	22.7	24.3	158	95.5	126.6	35.6
MARCELINO DEL ANGEL DEL ANGEL	20 años	41.6	45.7	55.7	13.7	49.2	19.9	41.9	69.1	102.7	32.4	48.7	20.3	21.1	159.8	94.1	148.9	41.4
ROMARIO SANTOS DE LA CRUZ	18 años	45.4	48.6	60.6	12.4	59.3	7.2	45.7	77.8	21.6	38.1	54.2	20.4	20.1	175.6	110.1	101.3	40.3
LEONEL ALEJANDRE RAMIREZ	19 años	34.7	46.4	57.4	16.2	51.1	30.4	42.8	65.3	107.4	40.7	60.1	22.6	24.1	158.6	96.9	145.1	41.7
VICTOR PEREZ TOMAS	19 años	46.2	50.1	60.3	12.1	57.6	23.3	42.9	73.6	118.7	36.2	46.4	19.7	19.9	170.1	108.6	157.4	33.1
MARIA GUADALUPE HERNANDEZ SANTIAGO	19 años	38.5	46.9	56.8	13.3	50.4	19.3	45.3	70.3	108.1	34.2	45.9	23.6	20.4	152.3	96.4	137.9	33.4
LUISA PEREZ DEL ANGEL	18 años	43.4	45.6	55.1	10.4	51.1	26.1	40.6	70.6	102.9	33.1	45.2	43.2	42.2	153.2	104.2	148.6	134.3
MONSERRAT GARCIA SANTIAGO	20 años	44.6	50.4	60.2	13.1	59.9	22.4	45.6	78.1	116.9	37.1	57.2	27.6	25.4	162.6	106.1	150.6	39.3
LAURIANO CRUZ HERNANDEZ	18 años	46.6	46.1	57.3	12.4	58.9	23.1	48.4	76.6	119.9	35.1	54.8	23.1	22.1	167.9	103.5	155.8	41.2
FELICIANA DEL ANGEL ANTONIO	20 años	36.3	46.6	54.8	11.1	46.5	21.6	45.9	70.8	101.5	31.6	46.1	22.9	19.9	150.1	93.1	138.4	34.6
EDGAR MATEOS SANTIAGO	18 años	46.2	47.4	59.6	14.1	60.6	23.2	50.4	79.9	121.2	37.1	59.9	23.2	24.2	180.8	105.2	154.9	42.1
SERGIO EDUARDO HERVERT SANTOS	18 años	47.9	59.2	57.5	27.2	48.4	24.7	49.1	75.4	120.7	37.4	54.2	26.1	25.3	171.4	107.4	157.1	39.9
DOLORES HERNANDEZ HERNANDEZ	18 años	35.6	38.6	48.3	11.2	46	24.1	39.9	61.7	99.4	32.2	42.2	20.4	17.8	143.1	90.7	141.7	31.2
EULOGIO MARTINES DE LA CRUZ	18 años	39.7	45.4	57.8	14.4	52.9	26.4	49.2	74.9	117.2	35.2	56.2	22.1	21.8	179.1	105.4	157.3	41.9
MARTIN CARMONA ROSALES	18 años	45.2	46.6	57.1	12.1	58.4	21.6	46.9	74.3	118.9	37.2	49.2	19.8	19.9	165.6	106.4	156.4	37.4
GISELA GARCIA IRENE	18 años	42.3	47.4	55.6	13.5	60.1	21.7	38.3	66.2	107.5	36.3	40.9	19.9	17.9	158.3	97.9	147.2	36.2
MARIA GUADALUPE DEL ANGEL ROMAN	18 años	42.2	45.6	56.8	10.8	59.7	26.6	35.7	67.6	121.8	37.7	35.1	18.5	16.3	157.9	93.6	146.4	39.6
FABIOLA ELSA MEZA PEREZ	19 años	39.9	45.3	52.4	12.8	59.9	18.4	33.3	65.3	144.9	34.8	35.7	21.5	18.3	152	99.2	97.4	20.7
JENIFER ISAUARA NUÑES DEL ANGEL	20 años	41.4	48.3	58.3	14.8	62.2	23.9	32.5	66.9	112.1	33.9	44.5	23.7	20.1	162.5	101.9	149.9	35.3
YARADZET HERNANDEZ AGUIRRE NOHELY	18 años	40.5	46.3	47.2	13	53.6	23.4	39.2	66.5	99.6	34.2	41.2	22.2	19.2	152.6	96.1	142.3	32.6
ANA KARINA DEL ANGEL HERNANDEZ	19 años	44.7	48.6	58.6	16.8	58.9	27.1	41.7	70.6	118.9	40.2	47.8	22.7	21.8	165.5	109.7	158	31.2
MARIANA DEL ANGEL DEL ANGEL	18 años	40.9	44.8	56.4	16.4	53	24.9	43.7	68.9	108.8	40.6	44.4	26.7	22.7	158.9	98.2	145.7	36.6
LUZ MARIA SANTIAGO MATEOS	18 años	43.9	46.2	57.8	13.8	59	22.9	42.9	77.3	124.2	39	33.1	18.2	18.9	172.4	91.8	163.2	36.2
KARLA IVONNE RIVERA DEL ANGEL	19 años	38.2	47.8	60.7	19.5	34.2	18.4	43.4	67.8	100.8	44.9	49.8	29.3	20	145.7	90.2	143.3	33.6
YULISA ESTHER HERNANDEZ SANCHEZ	19 años	40.4	47.7	56.6	16.8	51	24.6	45.5	73.4	105.3	38.7	47.8	24.8	22.8	155.7	95.4	133	34.4
VERONICA LOPEZ HERBERT	19 años	31.2	45.4	56.6	13.2	52.1	19.8	43.5	68.3	104.9	32.1	40.4	23.1	24.1	150.8	94.6	140.2	35.9
GUSTAVO PEREZ CLEMENTE	18 años	45.8	49.2	62.5	14.5	58.3	22.8	40.8	72.3	116.4	35.8	51.4	22.6	22.5	168.6	108.4	155.6	38.5
JULIAN CASANOVA ROSALINO	18 años	41.4	46.2	56.2	14.3	61.1	25.6	37.2	77.2	126.3	35.5	45.3	20.2	19.6	170.4	103.2	153.7	39.3
MANUEL ALEJANDRO SANTIAGO CRUZ	18 años	46.5	47.5	59.6	15.6	61.8	29.4	39.7	71.8	125.5	34.3	45.5	20.2	14.5	173.7	101.6	162.5	38.8
OMAR ANIMAS GUZMAN	19 años	46.1	42.8	57.2	15.4	61.9	25	41.8	71.5	123.3	37.7	52.9	22.7	22.4	168.7	103.8	156.2	39.9
USIEL MEJIA VELAZQUEZ	20 años	41.4	44.8	55.7	11.8	58.5	20.1	43.1	75.6	117.5	32.7	42.1	17.9	17.5	160.3	100.5	150.8	35.4
JORGE ZAMUDIO PONCE	19 años	43.3	47.5	60.7	14.3	61.8	23.9	42.5	72.9	118.7	40.2	48.7	22.1	22.6	161.9	103.4	150.3	36.9
DAMARIS TORRES SANCHEZ	18 años	47.2	48.5	60.2	14.5	58.9	26.3	41.5	75.1	118.1	37.9	47.9	21.5	22.2	168	108.6	156.5	30.6
MAYRA BENITO FERNANDEZ	19 años	41.6	45.1	44.4	14.4	61.5	22.6	40.1	65.4	117.4	37.1	41.2	22.4	20.4	153.4	94.6	139.9	36.4
FABIOLA PEREZ LUCAS	18 años	37.7	45.8	56.7	13.2	60	24.1	41.1	62.8	118.3	35.5	39.4	22.2	20.4	154.5	95.3	142.2	32.6
MARIA ESPERANZA BENITO DE LA CRUZ	18 años	39.3	45.9	57.4	14.2	60.2	21.9	39.9	71.2	117.3	37.4	45.6	25.9	62.5	156.8	96.6	142.7	34.5
YAQUELIN FLORES OSORIO	19 años	41.6	49.8	58.5	17.8	60.2	25.9	39.2	76.8	115.2	43.9	51.9	28.4	26.4	158.6	102.5	148.5	35.9
CLAUDIA ESTELA MAGNO FERNANDEZ	20 años	40.5	45.8	54.6	14.7	62.2	23.2	43.2	71.2	43.6	42.2	43.6	21.3	20.1	168.8	103.8	156.2	40.1
VIANEY MAGNO HERNANDEZ	21 años	43.9	47.4	57.1	14.2	61.2	26.3	45.6	72.3	120.6	38.5	43.4	23.3	19.7	169	106.2	157.6	39.6
LUZ MARIA HERNANDEZ BENITO	20 años	44.6	48.8	61.4	17.5	64.3	25.8	45.8	71.6	121.3	40.1	48.2	27.5	24.3	166.2	107.8	151.4	34.8
VERONICA FLORES MARTIR	19 años	42.3	48.1	59.4	14.9	62.6	21.4	46.4	79.4	121.9	37.3	40.9						

Una vez teniendo la concentración de las medidas antropométricas de la población estudiada, se comienzan los cálculos estadísticos necesarios y generales, que se utilizarán para la obtención del percentil, en estos casos el resultado obtenido se muestra en la tabla 4.

Tabla 4. Concentrado de cálculos estadísticos, media, mediana, desviación estándar, varianza, moda.

MEDIA	42.576	46.74	57.2	14.6	57.166	23.467	42.75286	71.90143	144.21	37.08	48.06	22.88	21.93	164.98	101.4	148.4	38.277
MEDIANA	42.5	46.6	57.65	14.3	58.9	23.45	42.9	72.3	118.2	37.1	47.95	22.4	20.95	166.75	103.7	153.1	36.75
DESV. ESTANDAR	3.5429	3.107	3.377	2.4	5.1124	3.3408	4.370611	6.374712	176.37	3.019	6.359	3.457	6.06	9.2143	12.6	20.22	12.352
VARIANZA	12.552	9.651	11.41	5.77	26.137	11.161	19.10224	40.63695	31107	9.112	40.44	11.95	36.72	84.904	158.7	408.9	152.57
MODA	41.6	48.6	57.8	14.2	58.9	24.1	45.6	71.2	118.1	37.1	41.2	22.4	20.4	168.7	105.9	156.8	39.3

Fuente: División de Ingeniería Industrial.

En seguida de obtener los cálculos estadísticos se calculan los percentiles 95, de las medidas antropométricas obtenidas, tanto de pie y sentado. Los percentiles obtenidos se reflejan en las tablas 5, 6 y 7.

Tabla 5. Concentrado de cálculos de los percentiles en posición sentado parte 1.

POSICIÓN SENTADO																	
AP			SP			SR			MA			MS			CA		
P5	P50	P95	P5	P50	P95	P5	P50	P95	P5	P50	P95	P5	P50	P95	P5	P50	P95
36.3	42.5	47.2	42.35	46.6	51.575	51.96	57.65	61.265	11.47	14.3	17.71	48.76	58.9	62.42	18.81	23.45	28.27

Fuente: División de Ingeniería Industrial.

Tabla 6. Concentrado de cálculos de los percentiles en posición sentado parte 2.

AmínB			AmiaB			AOs			ACs			CC			RP			RA		
P5	P50	P95	P5	P50	P95	P5	P50	P95	P5	P50	P95	P5	P50	P95	P5	P50	P95	P5	P50	P95
34.93	42.9	49.16	65.25	72.3	79.675	100.14	118.2	127.965	32.245	37.1	42.31	38.85	47.85	59.405	19	22.4	28.04	17.5	20.95	26

Fuente: División de Ingeniería Industrial.

Tabla 7. Concentrado de cálculos de los percentiles en posición sentado parte 3.

POSICIÓN DE PIE											
E			CSp			AOp			Anhh		
P5	P50	P95	P5	P50	P95	P5	P50	P95	P5	P50	P95
151.34	166.8	179	92.55	104	110.4	129.48	153.1	163.2	30.87	36.75	43.1

Fuente: División de Ingeniería Industrial.

Resultados y discusión

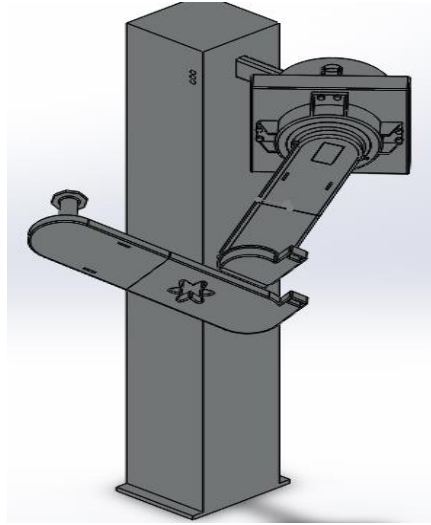


Figura 2. Modelo en SolidWorks.
Fuente: los Autores.

Se obtuvo un diseño en SolidWorks (Figura 2) el cual se imprimió en una impresora 3D marca PRUSA Modelo i3 MK2. Se realizan pruebas para la validación del avance en la recuperación de un paciente con problemas en extremidades superiores, esto a través de la creación de rutinas para terapias a través del Sistema Robótico (Figura 3).

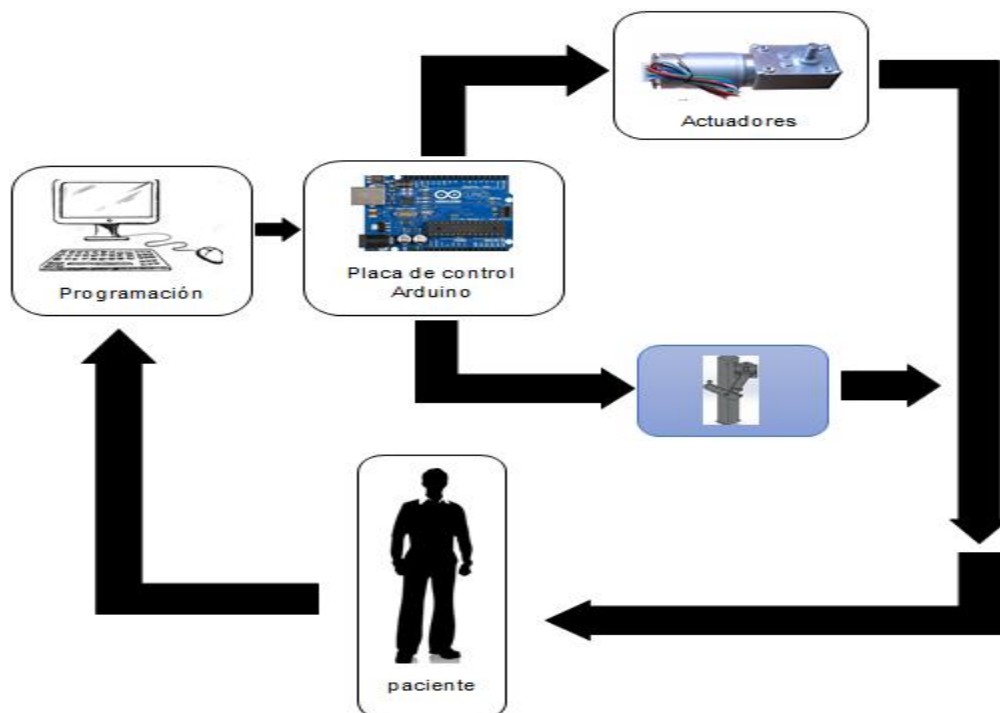


Figura 3. Diagrama a bloques del sistema robótico.
Fuente: los Autores.

La aplicación de la tecnología y el desarrollo creciente de proyectos desarrollados por ingenieros para la rehabilitación de partes del cuerpo, provoca que esta última este en constante evolución y que los terapeutas utilicen como herramientas a robots o sistemas mecatrónicos como el propuesto en el presente trabajo.

El sistema está diseñado en arquitectura abierta, lo que significa que cada una de sus partes puede ser sustituida por sus equivalentes respetando las condicionantes de tipos y niveles de señales.

El prototipo puede realizar las tareas repetitivas necesarias en las terapias para la rehabilitación de extremidades superiores.

Conclusiones

En este artículo se ha utilizado el software Solidworks para el diseño y la simulación de un Sistema robótico de rehabilitación terapéutica para extremidades superiores de pacientes con discapacidad motriz.

Las principales conclusiones se resumen en los puntos siguientes:

Solidworks es una herramienta concebida dentro de la filosofía CAD que auxilia de gran manera al desarrollo de prototipos. Para el caso del Sistema robótico de rehabilitación terapéutica para extremidades superiores de pacientes con discapacidad motriz, fue posible utilizar los archivos generados en Solidwork para dibujar el prototipo, para la manufactura convencional (interpretación de planos de fabricación), para la fabricación de piezas por medio de la técnica de manufactura aditiva (impresión 3D) y para la simulación del ensamble. Toda esta versatilidad de aplicaciones hace posible afirmar que el Solidworks es una herramienta concebida dentro del concepto de alta integración y, por lo tanto, forma parte de la gama de tecnologías con las cuales se conciben los productos y sistemas mecatrónicos.

Las metodologías descritas y propuestas en este trabajo, relacionadas con el dibujado y las interrelaciones entre el Solidworks y la manufactura aditiva, ayudarán a los alumnos y profesores a realizar aplicaciones con más facilidad y rapidez, a pesar de que sólo son propuestas y que no son únicas (debido que cada diseñador tiene una lógica propia para manejar el software).

Debido a la enorme importancia que tienen los softwares de dibujado, como es el caso del Solidworks, para el desarrollo de productos y sistemas mecatrónicos, es necesario que su enseñanza no sólo se oriente al dibujado, si no que se exploren todas las interfaces que puedan existir entre las diversas tecnologías que asisten a la mecatrónica, tales como, software para la manufactura por CNC, impresión 3D, software que asisten a la ingeniería (Análisis por elemento finito y análisis de mecanismos), software de control como es el caso de LabVIEW y softwares de cálculo formal, entre otras tecnologías.

Agradecimientos

Agradecemos al Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca, en especial a la Subdirección de Posgrado e Investigación, así mismo a los estudiantes de las asignaturas de Fundamentos de Investigación y Dibujo Asistido por Computadora (Agosto - Diciembre 2018) de la carrera de Ingeniería Mecatrónica por el apoyo en la investigación documental y los diseños y ensambles realizados en SolidWorks para el desarrollo del presente proyecto.

Referencias bibliográficas

- Frederic H. Martini, M. J. (2009). Anatomía Humana (Sexta edición ed.). (M. Martín-Romo, Ed.) Madrid: PERSO EDUCACION S.A. Obtenido de <http://dipsa.com/ClanDunant/Textos/TUM%20-%20Anatomia%20Humana%20Martini.pdf>
- Galeano, D. (s.f.). Robótica Medica. Investigación, Universidad Católica Nuestra Señora de la Asunción, Facultad de Ciencia y Tecnología, Paraguay. Recuperado el 27 de junio de 2019, de http://jeuazarru.com/wp-content/uploads/2014/10/robotica_medical.pdf
- Gerard J. Tortora, B. D. (1996). Principios de Anatomía y Fisiología (Sexta ed.). México D.F: Harla.
- González, C. E. (2016). El complejo articular de la muñeca: aspectos anatófisiológicos y biomecánicos, características, clasificación y tratamiento de la fractura distal del radio. Investigación, Universidad Federal de Río de Janeiro, Rio de Janeiro Brasil. Recuperado el 27 de junio de 2019, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1727-897X2016000400011
- Kapandji, A. I. (2006). Fisiología articular: esquemas comentados de mecánica humana (sexta edición). Madrid, España: Medica Panamericana. Recuperado el 27 de junio de 2019, de [http://biblioteca.udla.edu.ec/client/es_EC/default/search/detailnonmodal/ent:\\$002f\\$002fSD_ILS\\$002f0\\$002fSD_ILS:6601/ada?qu=MEC%C3%81NICA&qf=LIBRARY%09Biblioteca%091%3ABU%09Biblioteca+Udla+Park&ic=true&te=ILS&ps=300](http://biblioteca.udla.edu.ec/client/es_EC/default/search/detailnonmodal/ent:$002f$002fSD_ILS$002f0$002fSD_ILS:6601/ada?qu=MEC%C3%81NICA&qf=LIBRARY%09Biblioteca%091%3ABU%09Biblioteca+Udla+Park&ic=true&te=ILS&ps=300)
- Moreno. (1999). Métodos de investigación en biomecánica. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Richard L. Drake, A. W. (2015). Gray. Anatomía para estudiantes (Vol. tercera edición). Barcelona, España: elsevier. Recuperado el 27 de junio de 2019, de [https://books.google.com.mx/books?id=NWPeBgAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=Drake,+R.+L.,+Vogl,+W.,+%26+W.M.+Mitchell,+A.+\(2005\).+%E2%80%9CAnatom%C3%ADa+para+estudiantes%E2%80%9D.+Madrid,+Espa%C3%B1a:+Elsevier&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiIn7a7h4vjAhUGCawKHUnPBvI](https://books.google.com.mx/books?id=NWPeBgAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=Drake,+R.+L.,+Vogl,+W.,+%26+W.M.+Mitchell,+A.+(2005).+%E2%80%9CAnatom%C3%ADa+para+estudiantes%E2%80%9D.+Madrid,+Espa%C3%B1a:+Elsevier&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiIn7a7h4vjAhUGCawKHUnPBvI)

- Taboadela, C. H. (2007). Goniometría una herramienta para las incapacidades laborales (primera edición ed., Vol.). Buenos Aires, Argentina: Asociart ART. Recuperado el 27 de junio de 2019, de <http://medisoftware.com.ve/Download/Normas/libro-goniometria.pdf?x89882>
- Tacuma, U. N. (2013). Facultad de ciencias exactas y tecnología, argentina.