



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN PROTOTIPO ROBÓTICO PARA REHABILITACIÓN DE EXTREMIDADES SUPERIORES, PARA PACIENTES CON DAÑO CEREBRAL ADQUIRIDO (DCA)

Autores:

Alexander Marcelo Ortiz Rendon

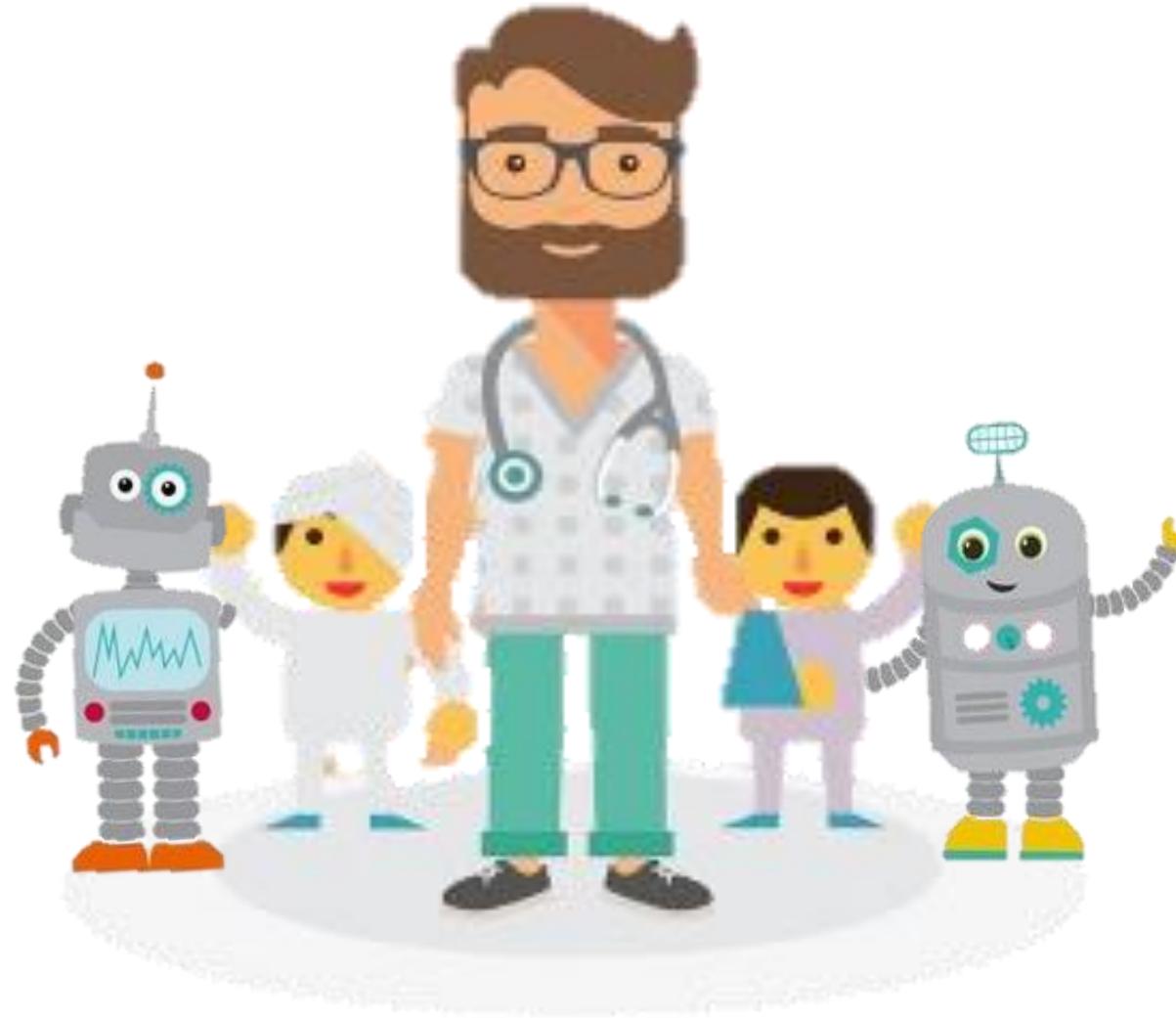
Milton Eduardo Cárdenas Arias

Director:

Ing. Guido Torres Muñoz



REHABILITACIÓN ROBÓTICA



OBJETIVOS ESPECÍFICOS

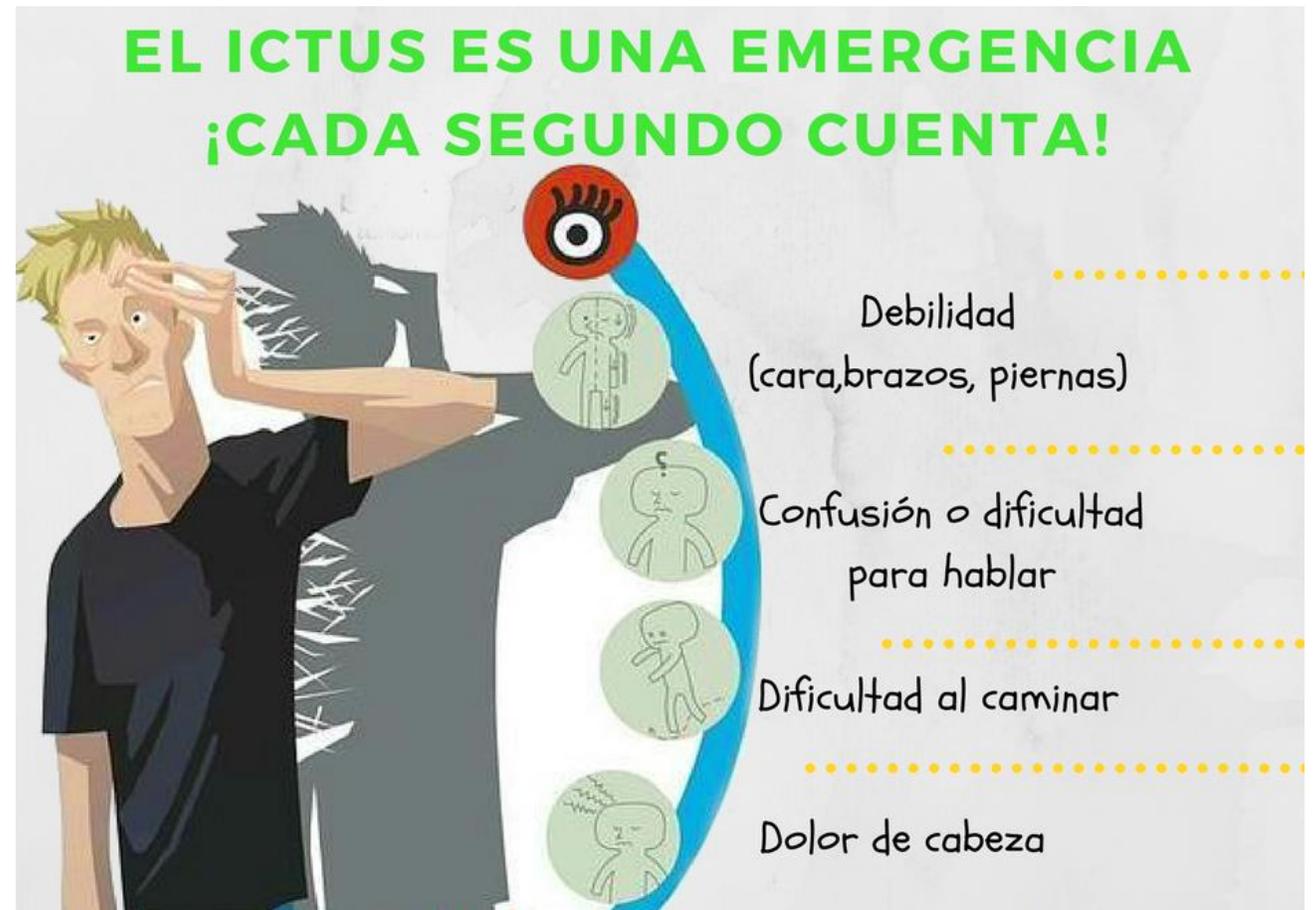
- Investigar las características clínicas sobre los programas de rehabilitación de terapia activa y pasiva para la movilidad de extremidades superiores antebrazo, codo y hombro en los pacientes con Daño Cerebral Adquirido DCA.
- Diseñar y simular el sistema de asistencia de peso.
- Diseñar y seleccionar los sistemas eléctricos y electrónicos que conforman el equipo de rehabilitación.
- Seleccionar y programar el sistema de detección de movimiento.
- Diseñar y programar el sistema de control de interface del equipo.
- Integrar todos los sistemas en un solo equipo mecatrónico.
- Realizar evaluaciones a los sistemas.

CAUSAS Y CIRCUNSTANCIAS DEL DCA

Causa	Circunstancias
Fuerzas Traumáticas en la cabeza	Accidente Vehicular, Heridas de bala en la cabeza, objetos cayendo sobre la cabeza, Caídas y Asaltos
Afecciones en Sistema Cardiovascular	Embolia, Trombosis, Aneurisma
Sangrado en el Cerebro	Cirugía Intracraneal, Hemorragia, Hematoma
Falta de oxígeno al Cerebro	Anoxia/Hipoxia, A punto de ahogarse, Paro Cardíaco, Sobredosis de Droga.
Exposición Tóxica	Envenenamiento por monóxido de carbono, inhalar productos químicos tóxicos, inhalación de solvente, uso excesivo y prolongado de drogas y/o alcohol

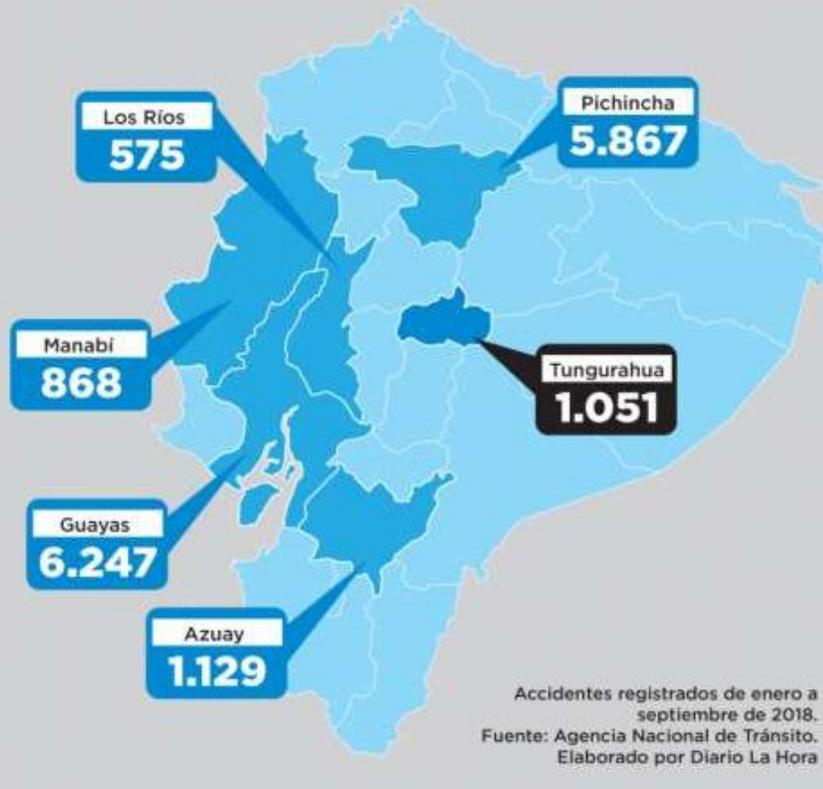
DAÑO CEREBRAL

- El daño cerebral adquirido (DCA) es la primera causa de mortalidad y la tercera causa de discapacidad a nivel mundial (Moreno, y otros, 2016),
- Además según datos del INEC en el Ecuador en el 2014 el DCA fue la tercera causa de muerte (INEC, 2014)



ACCIDENTABILIDAD

Provincias con mayor accidentabilidad



La Hora
LO QUE NECESITAS SABER

MARTES 09 DE ABRIL DE 2019

Tungurahua

Número total de ejemplares puestos en circulación: 26.723

50c incl. IVA

Tungurahua, en el 'top' de accidentes de tránsito

La provincia se encuentra en cuarto puesto a nivel nacional con el mayor número de siniestros ocurridos en carreteras.

Según cifras de la Agencia Nacional de Tránsito (ANT), en Tungurahua se registró un aumento del 20,3% en accidentes de tránsito durante el 2018 en referencia al 2017.

Un total de 1.407 siniestros se produjeron en los nueve cantones de la provincia dejando 689 lesionados y un total de 73 fallecidos.

Entre las causas más frecuentes que determinaron estos accidentes de tránsito está conducir desatento y con la mirada en el celular, pantallas de video o cualquier otro elemento distractor, el exceso de velocidad y el irrespeto a las señales de tránsito.

Guillermo Abad, presidente de Justicia Vial, mencionó que la tendencia de siniestro a nivel nacional ha ido incrementándose en los últimos 10 años y que hace falta una verdadera capacitación para contrarrestar el problema.

Mientras tanto, Silvia Suárez, directora de la Agencia Nacional de Tránsito en la provincia, indicó que en enero se formó la mesa de siniestralidad que trabaja con la Policía Nacional, Sistema Integrado de Seguridad ECU 911, Consejo de la Judicatura y Fiscalía para reducir las cifras de accidentes.

Página A3

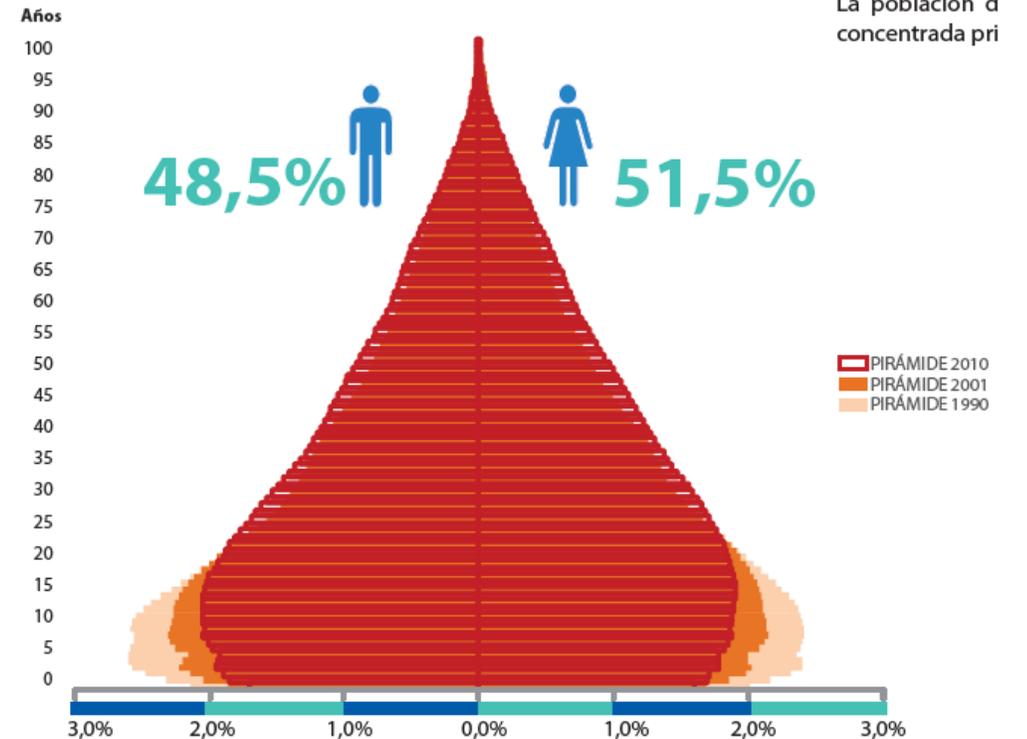
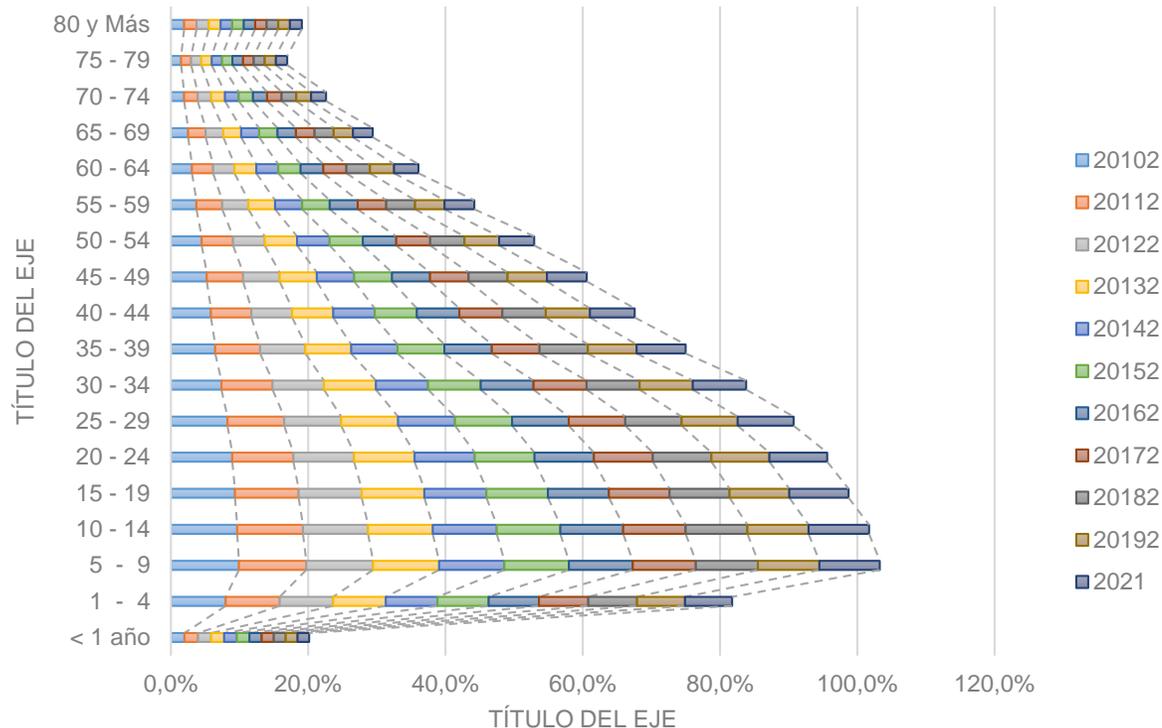


PELIGRO. Un accidente dejó heridos en la Panamericana Sur.

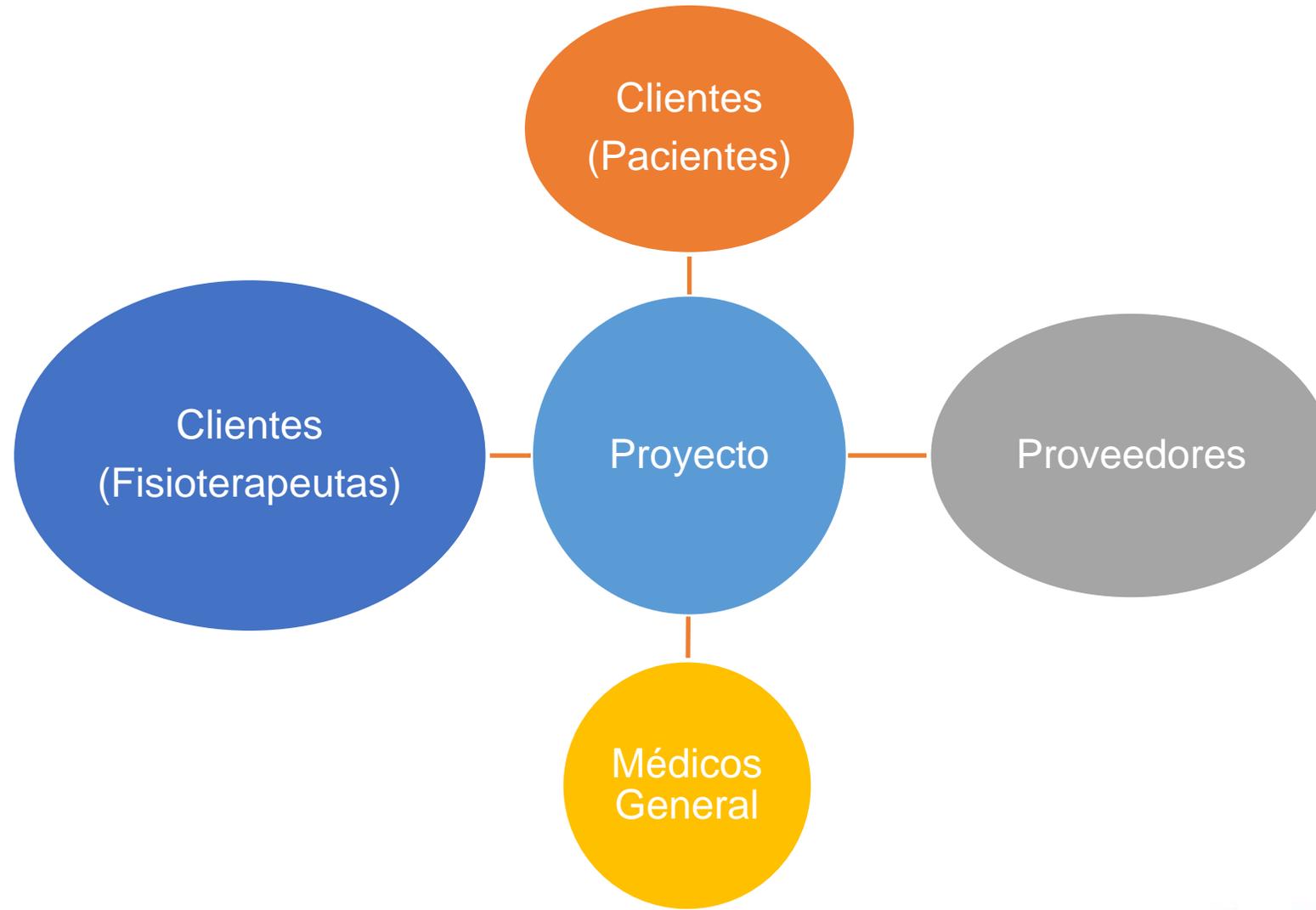
POBLACIÓN

El 10,9% de la población de Tungurahua es mayor de 65 años. Esto incide en un constante incremento de la demanda de los servicios de rehabilitación y fisioterapéuticos.

Pirámide Población Ambato 2010 -2021



INVOLUCRADOS

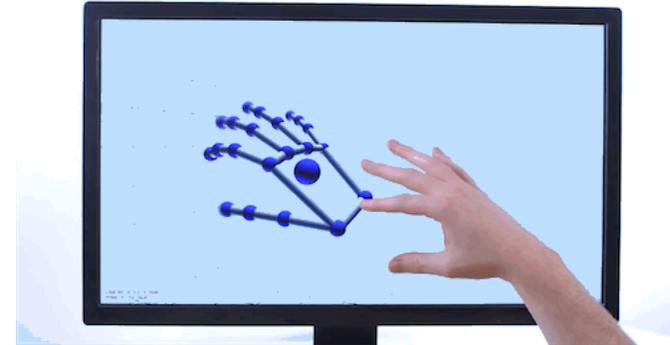


PLATAFORMA INTERACTIVA

Plataforma interactiva



Sensores



Arneses Adaptables



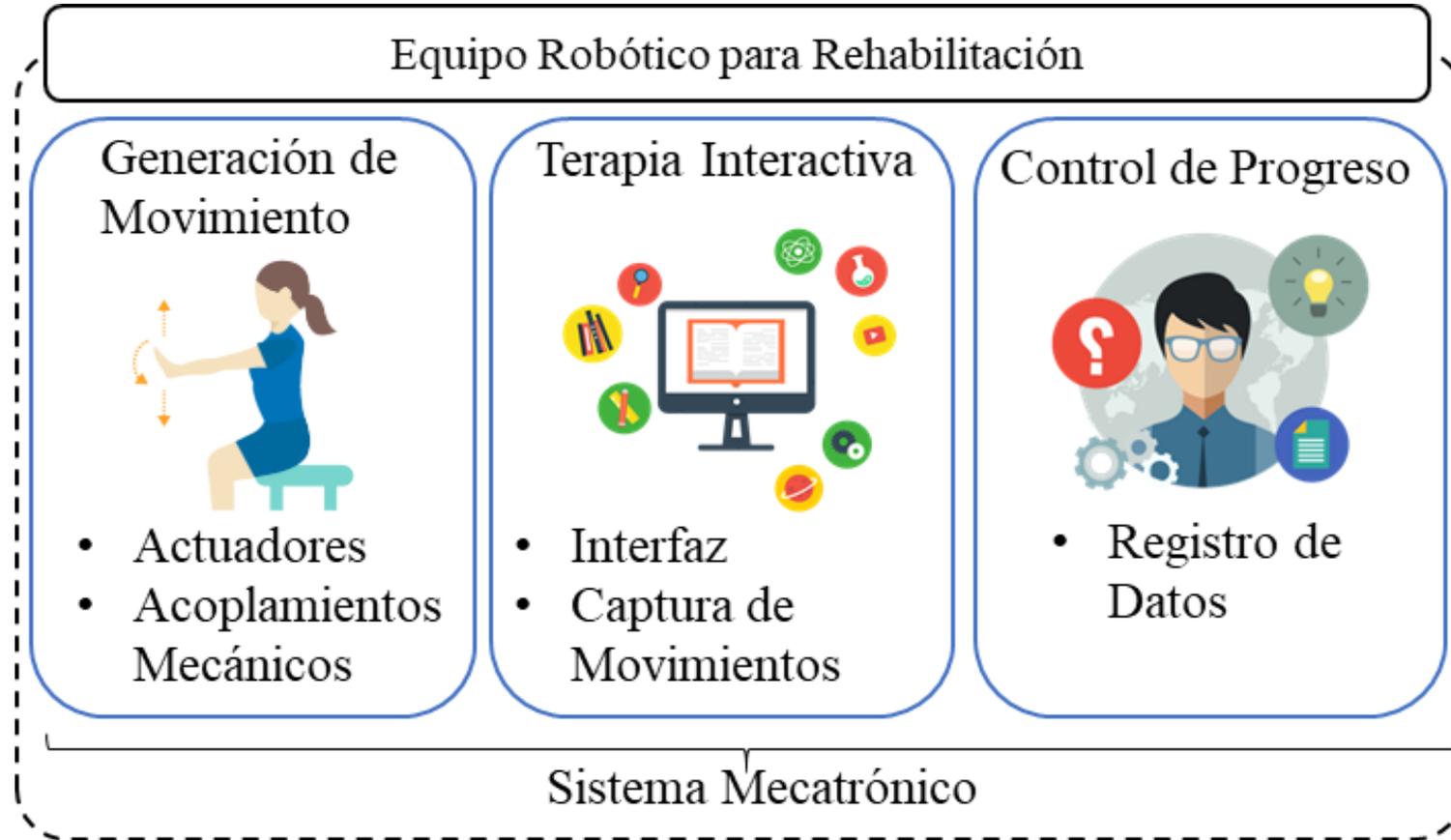
Evaluación



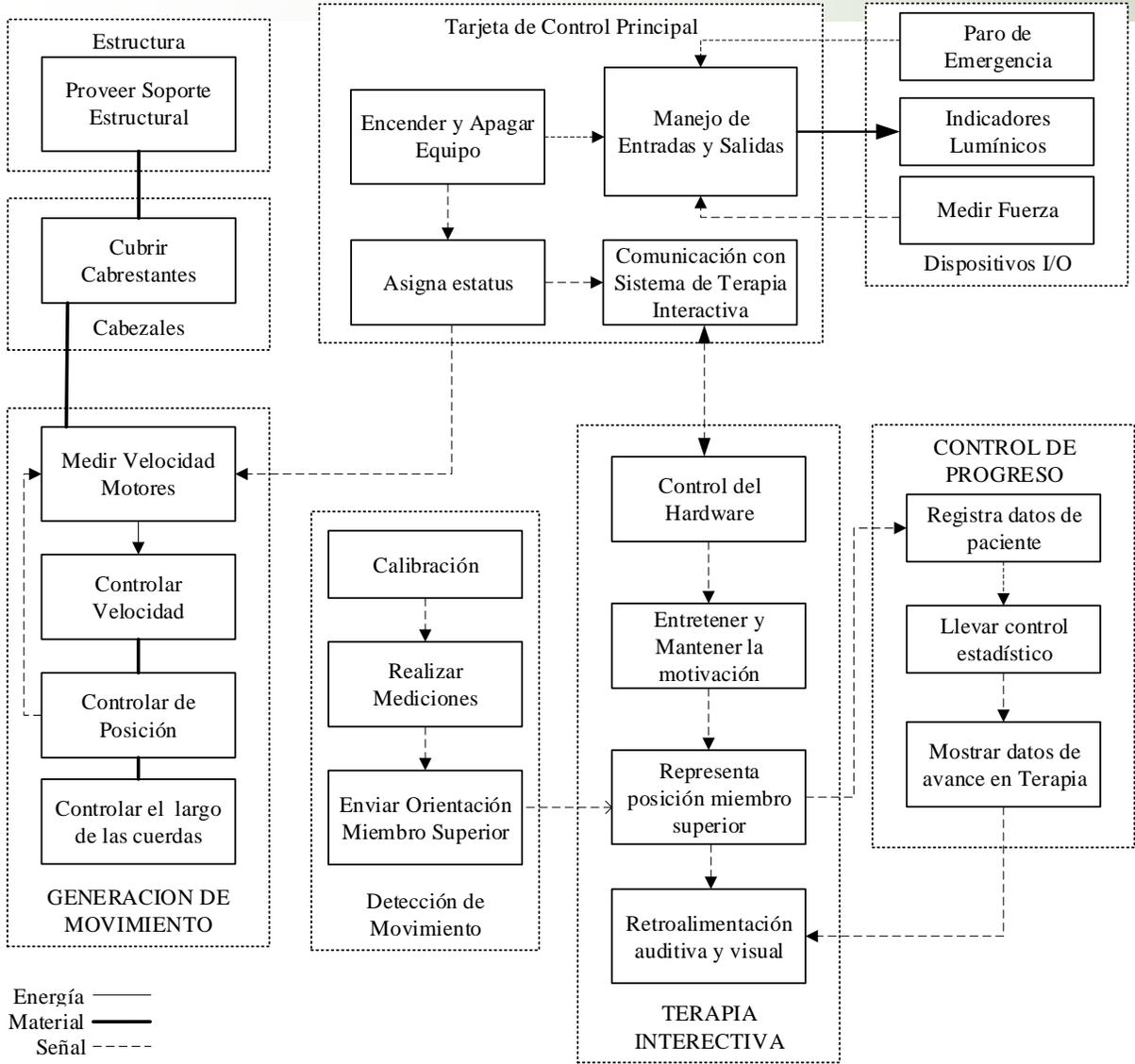
Alivio de peso



SISTEMA MECATRÓNICO

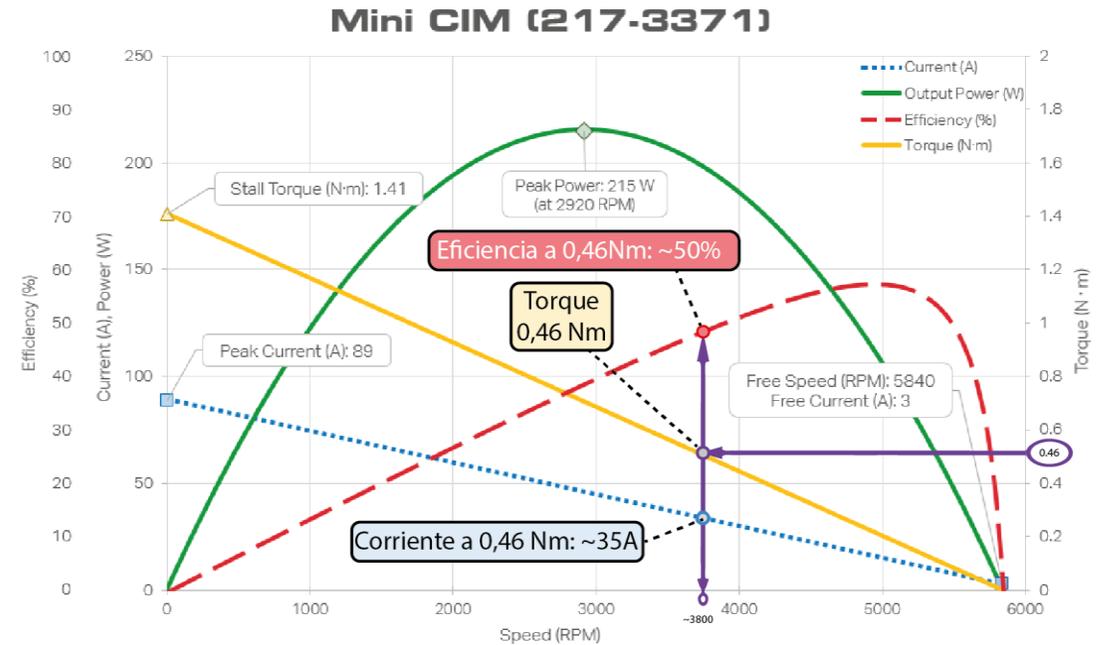
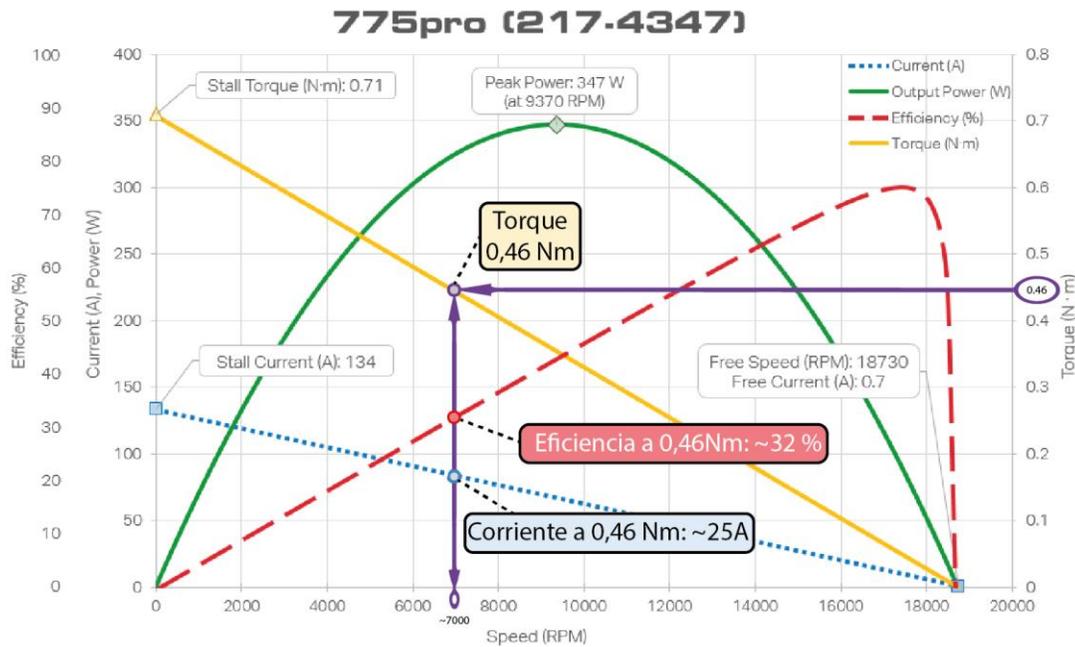


DISEÑO A DETALLE



ESQUEMA DEL EQUIPO ROBÓTICO

SELECCIÓN DE MOTORES



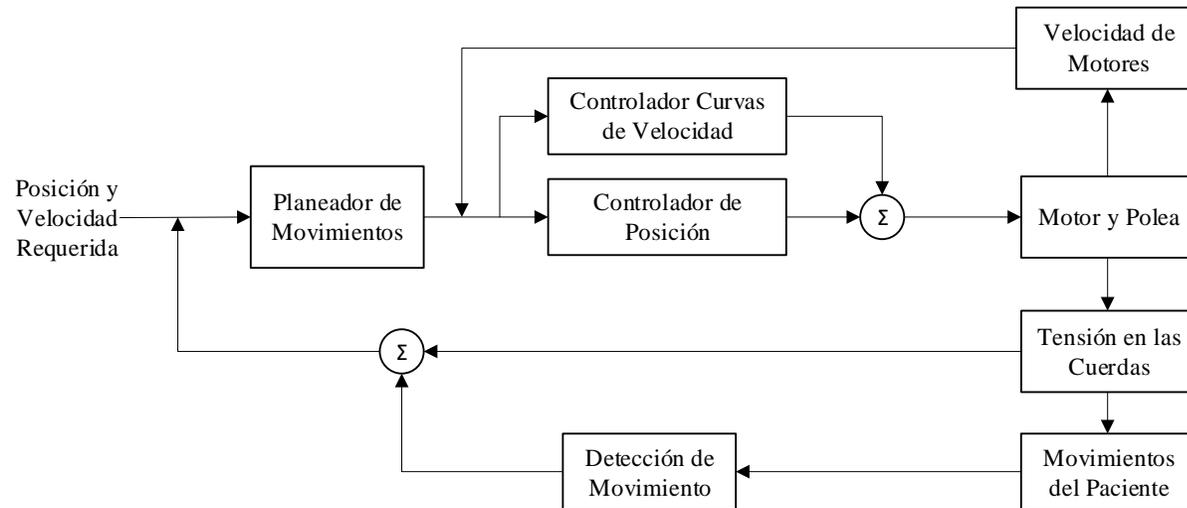
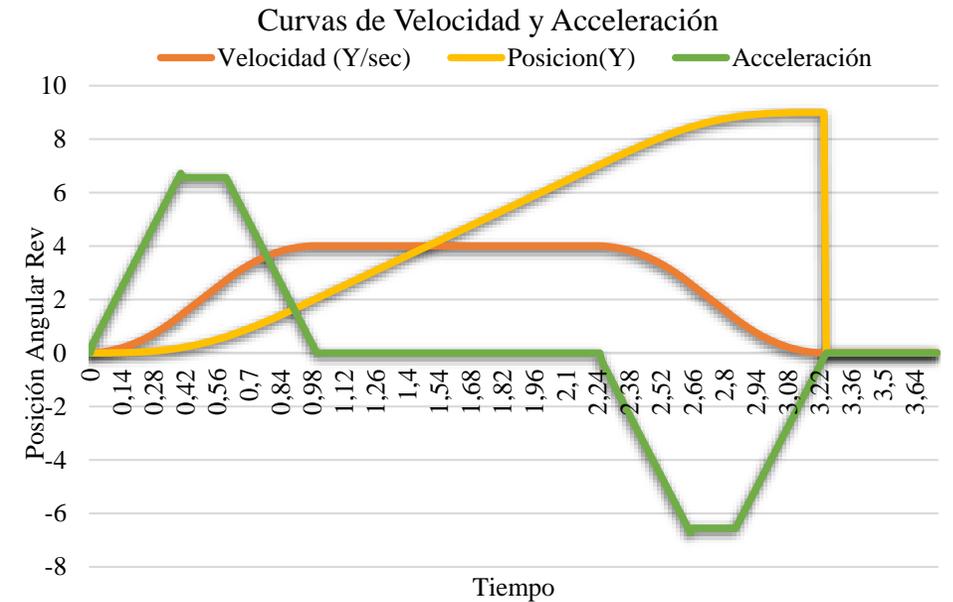
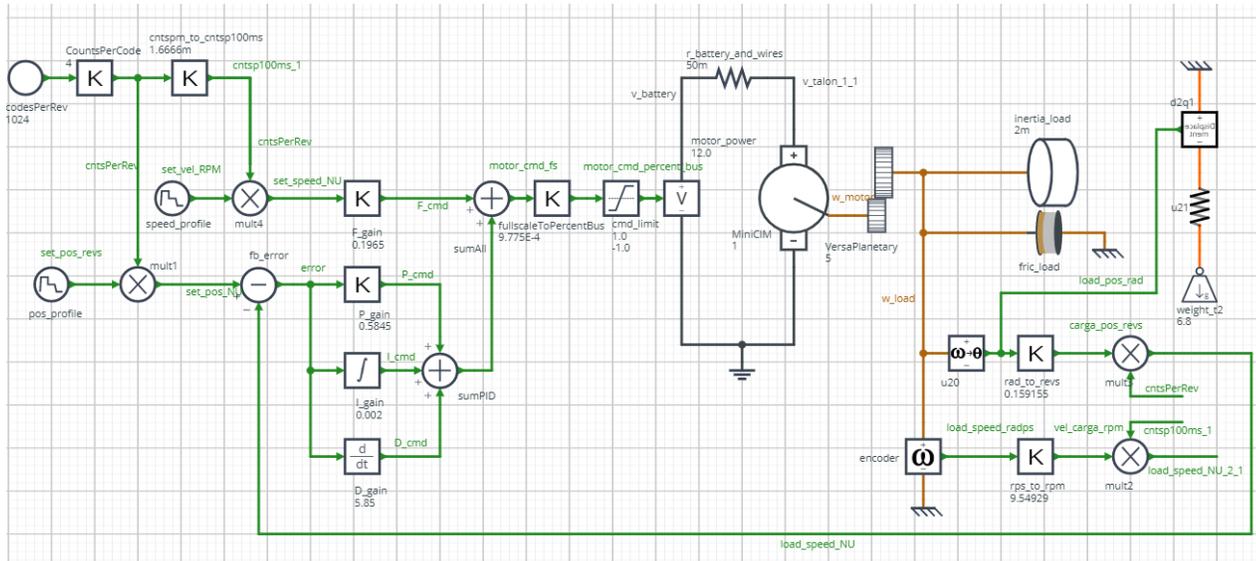
$$W_m = \frac{v}{r} R t$$

$$W_m = 416,66 \left[\frac{rad}{s} \right] = 3978,87 \text{ RPMS}$$

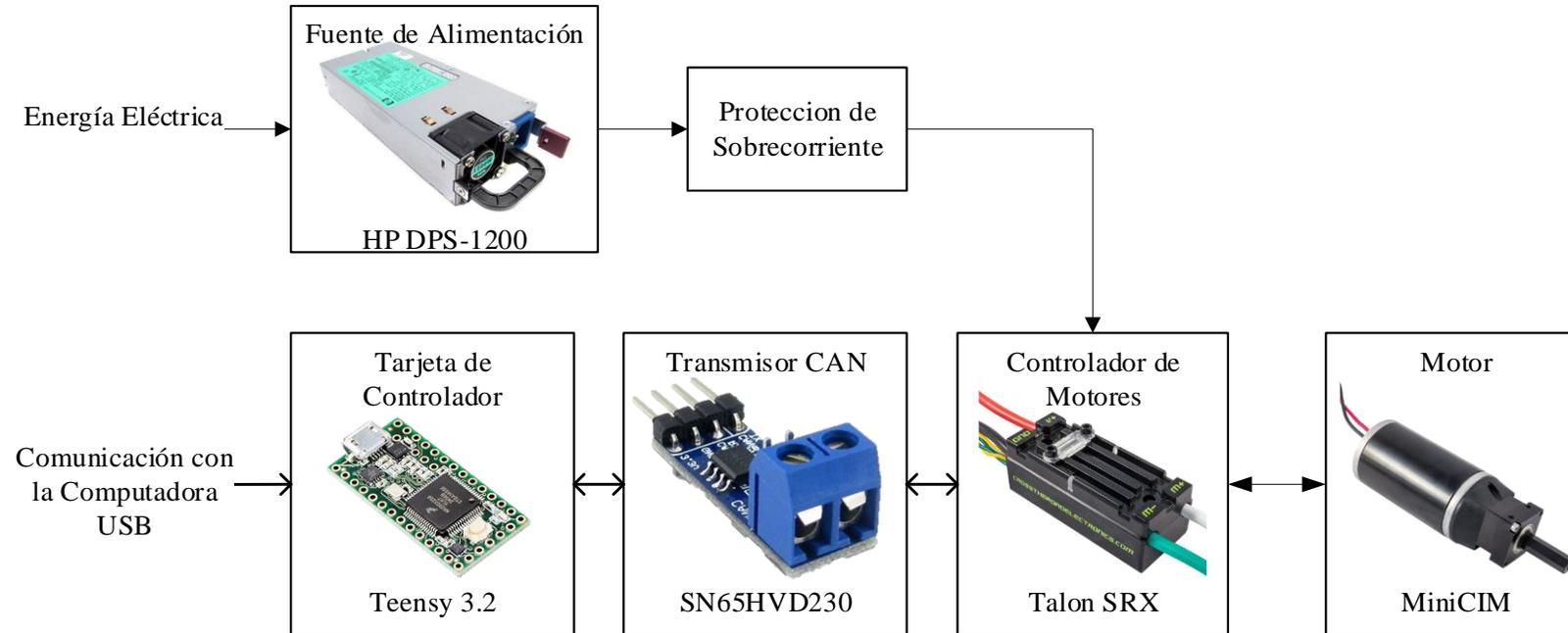
$$T_m = \frac{T}{R t}$$

$$T_m = 0,46 [Nm]$$

CONTROLADOR

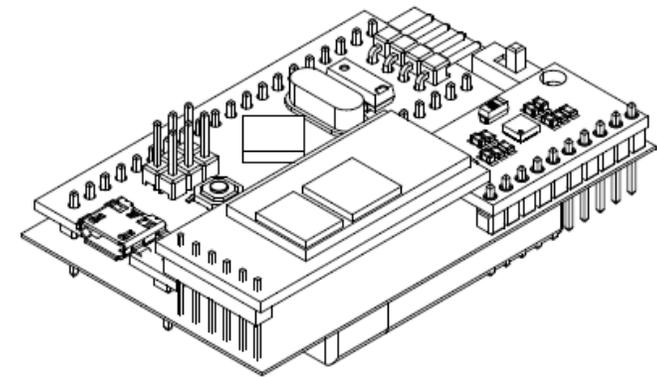
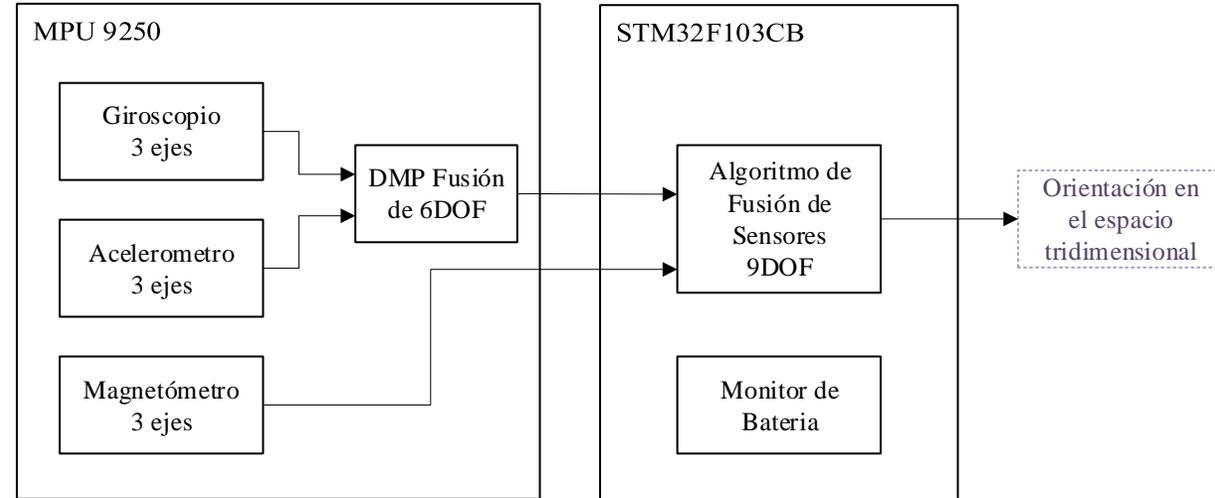
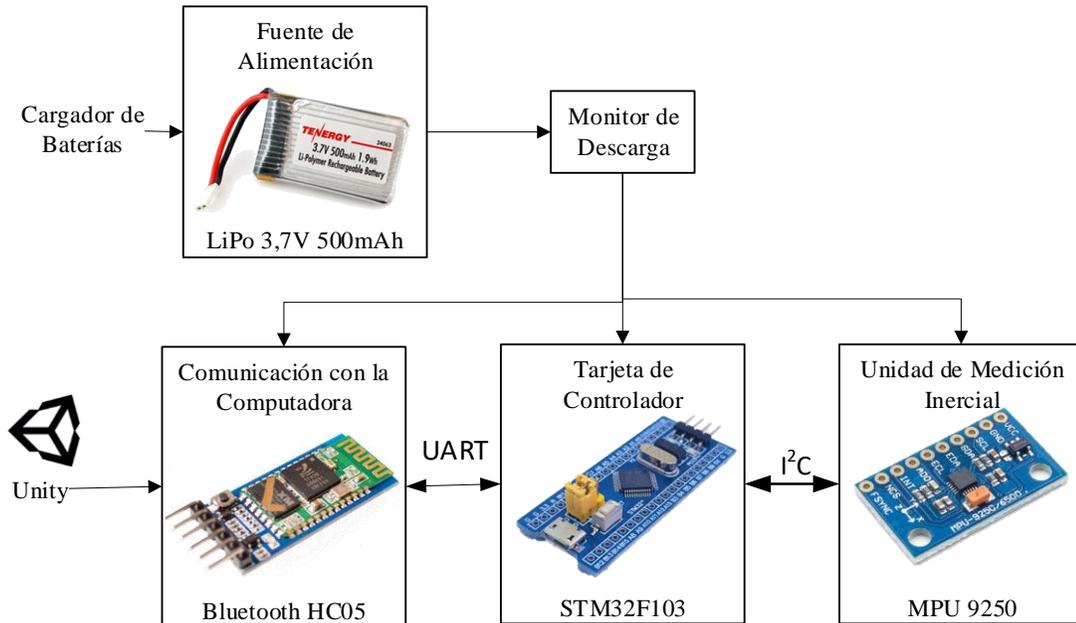


GENERACIÓN DE MOVIMIENTO

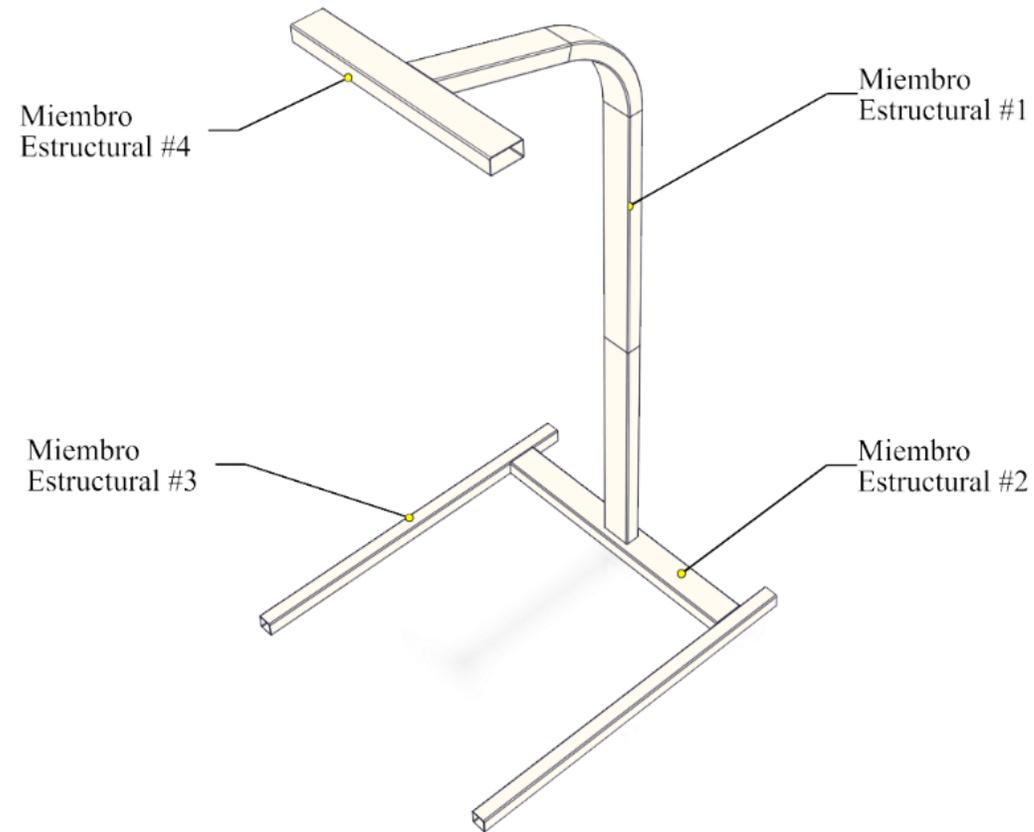


DETECCIÓN DE MOVIMIENTO Y DMP

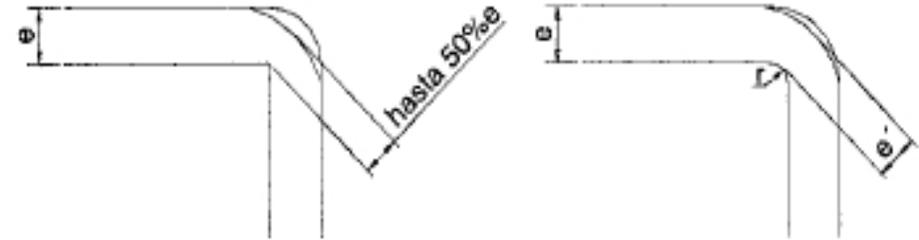
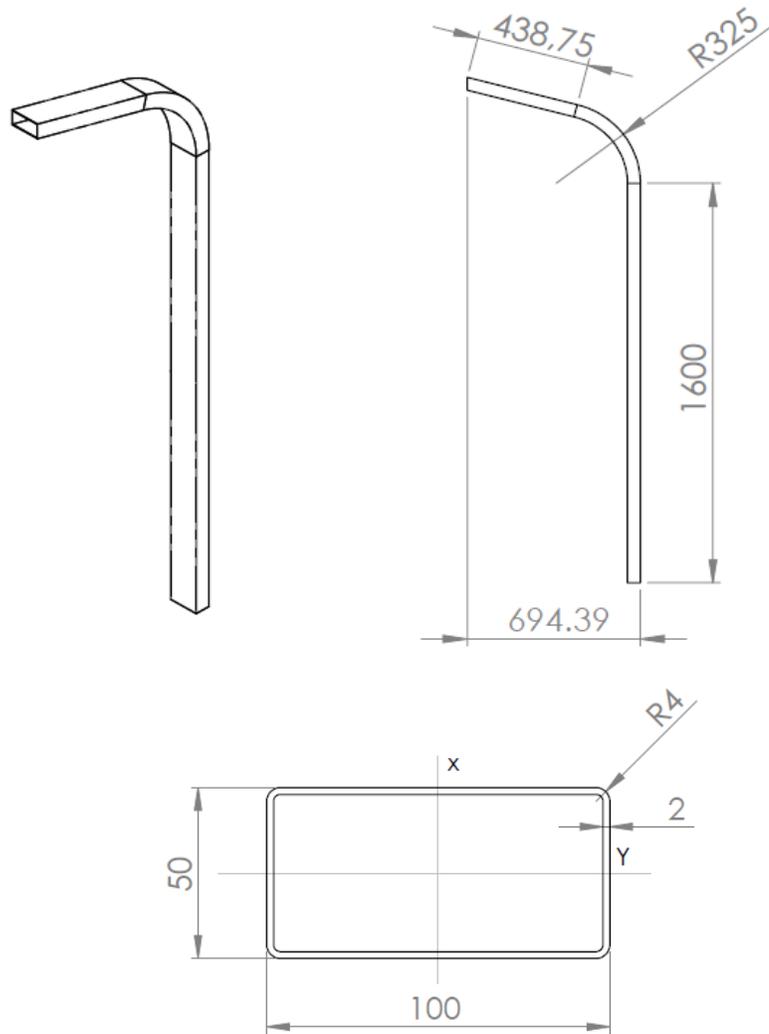
Fusión de Sensores



DISEÑO ESTRUCTURAL



MIEMBRO ESTRUCTURAL 1



Valores del radio(r) interior

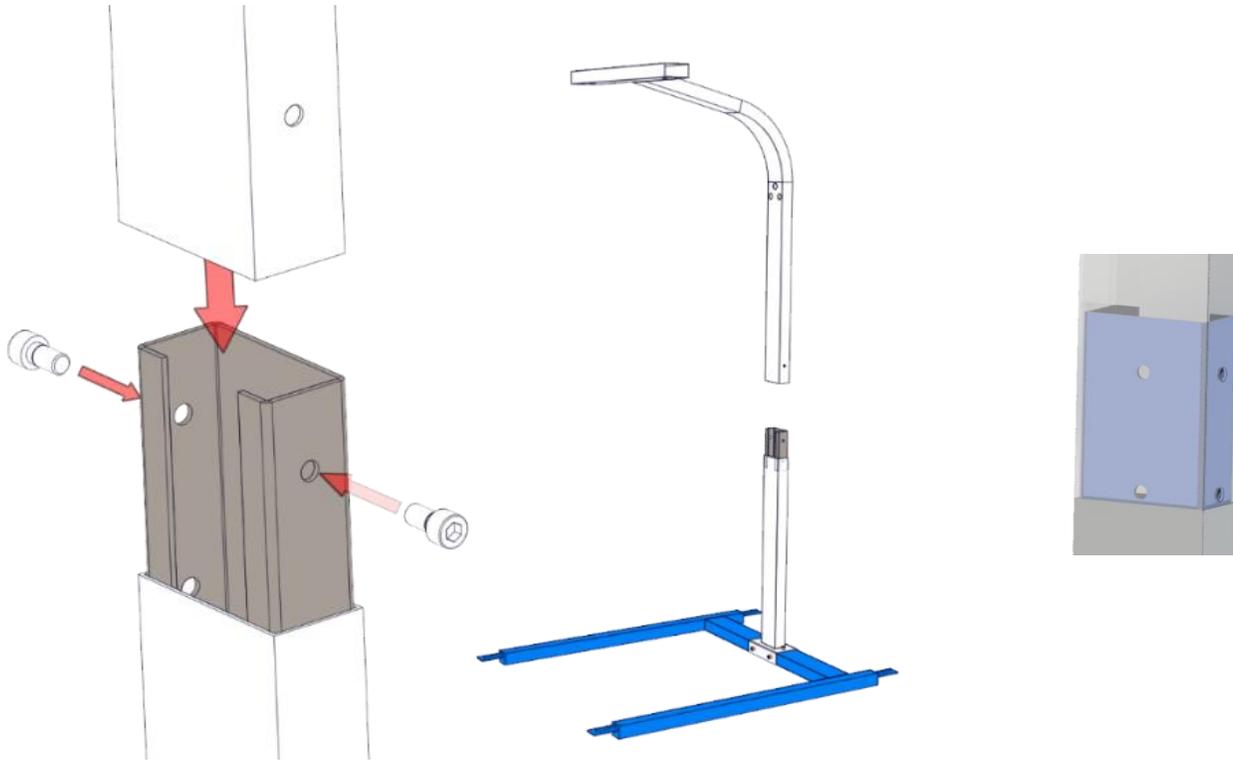
Para materiales blandos → $e \leq r \leq 2e$
 Para materiales duros → $3e \leq r \leq 4e$

Influencia en la variación de espesor (e') en función del radio interior:

Para $r=e$ $e' < 80\%e$
 Para $r=5e$ $e' < 95\%e$

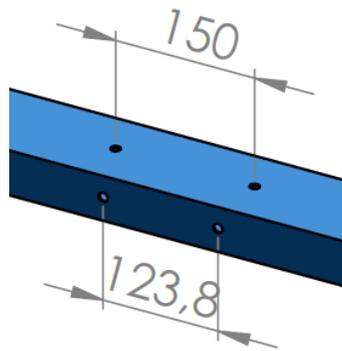
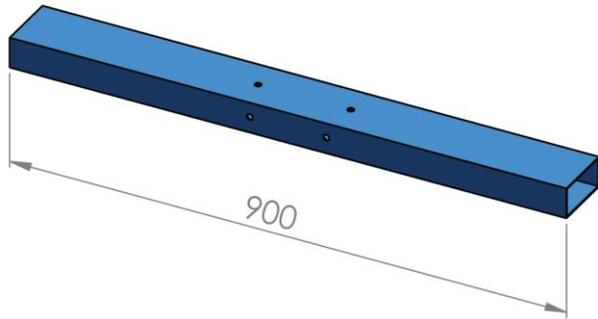
$$\sigma_c = \frac{F}{A} \left[1 + \frac{ec}{k^2} * \sec \left(\frac{l}{2k} \sqrt{\frac{F}{EA}} \right) \right]$$

MIEMBRO ESTRUCTURAL 1



Cortante en Pernos
Aplastamiento en el Miembro
Aplastamiento en Pernos

MIEMBRO ESTRUCTURAL 2



Viga Empotrada en los Extremos

Flexión Máxima

Flexión Permitida en el Diseño

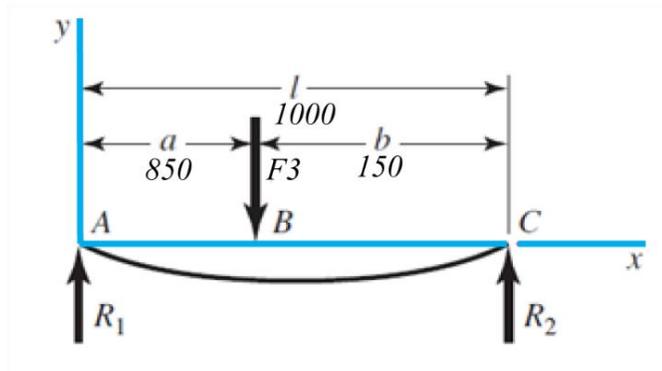
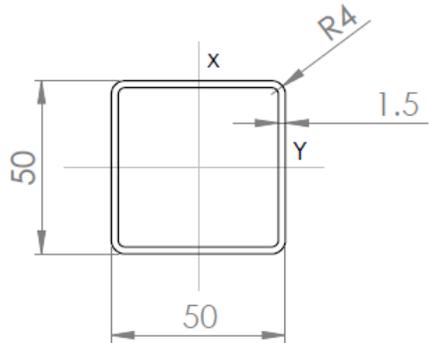
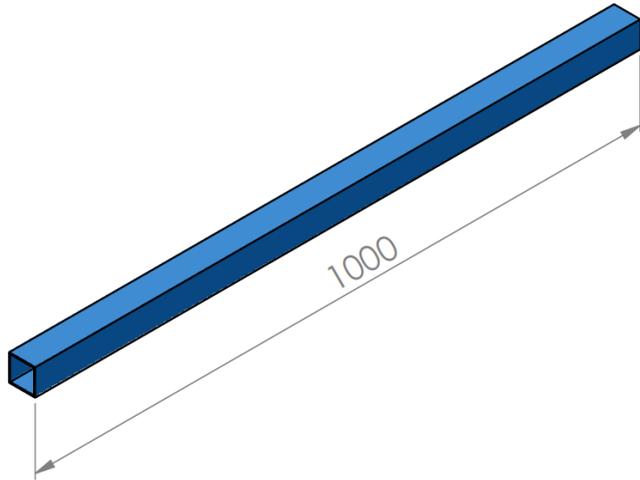
Limite de Flexión Recomendado

$$Y_{max} = -\frac{FL^3}{192EI}$$

Diseño de Soldadura

$$h = \frac{F_R}{F_a}$$

MIEMBRO ESTRUCTURAL 3



$$Y_{max} = -\frac{Fbx}{6EIL} (x^2 + b^2 - l^2)$$

Flexión Máxima

Flexión Permitida en el Diseño

Limite de Flexión Recomendado

MIEMBRO ESTRUCTURAL 3

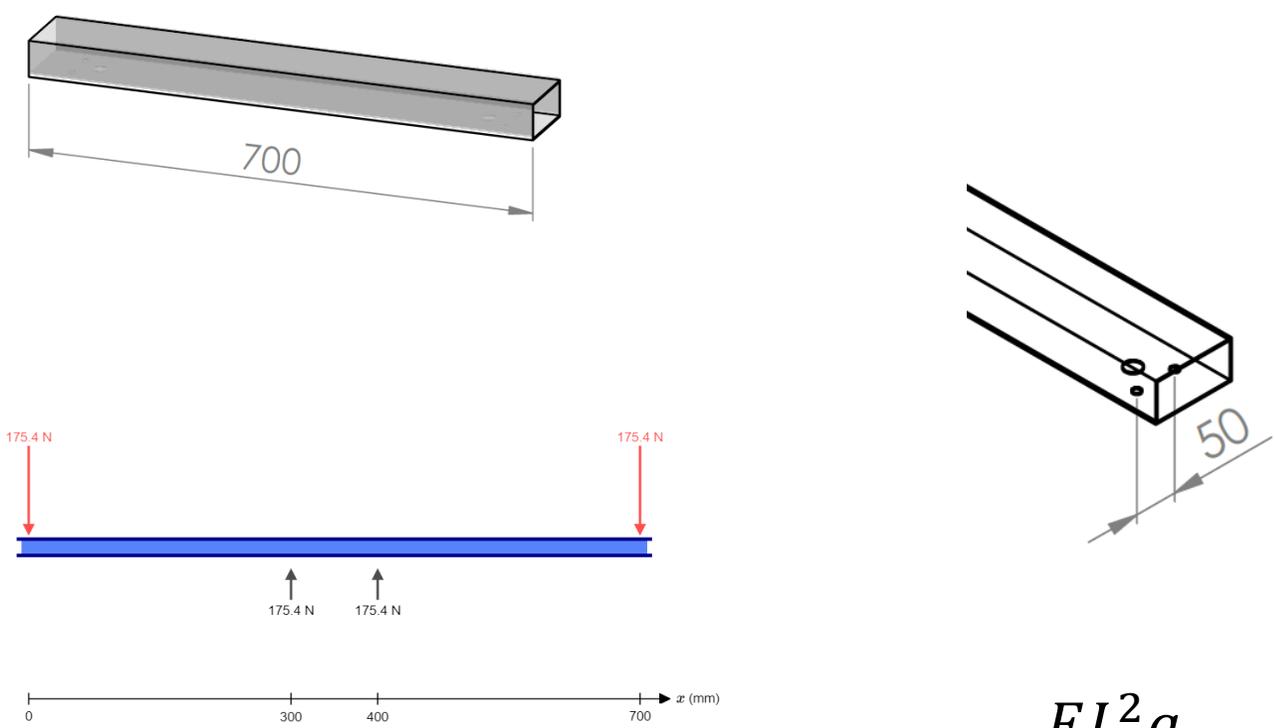
Cálculo de la Carga Máxima que Soportan las Ruedas

$$Q_{rg} = \frac{Q_t}{N_g - 1}$$

$$Q_{rg} = \frac{50 [kg]}{4 - 1}$$

$$Q_{rg} = 16,66 [kg]$$

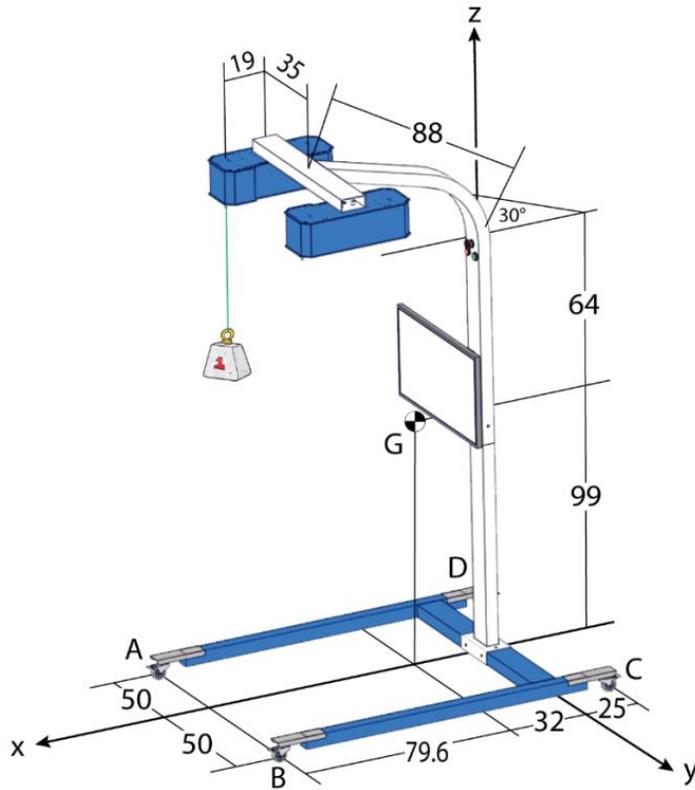
MIEMBRO ESTRUCTURAL 4



Flexión Máxima
Flexión Permitida en el Diseño
Limite de Flexión Recomendado

$$Y = \frac{FL^2a}{8EI}$$

ANÁLISIS DE VOLTEO



Equilibrio sobre el eje Y

$$W = 156,36 \text{ [kg]}$$

Equilibrio sobre el eje X

$$W = 92,68 \text{ [kg]}$$

ANÁLISIS POR ELEMENTOS FINITOS

B: Static Structural

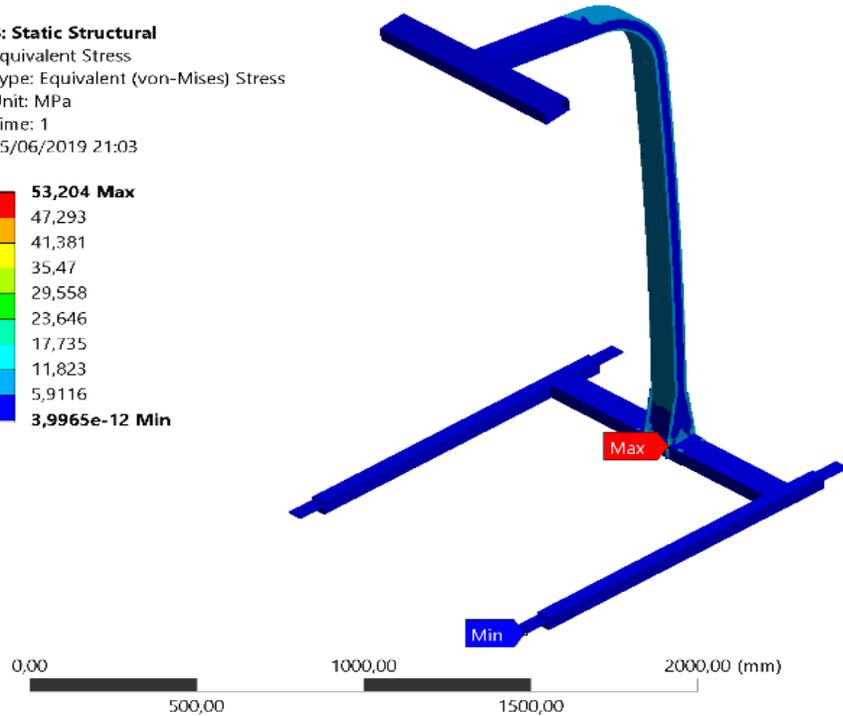
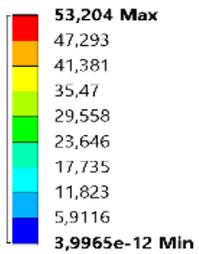
Equivalent Stress

Type: Equivalent (von-Mises) Stress

Unit: MPa

Time: 1

25/06/2019 21:03



Von-Mises

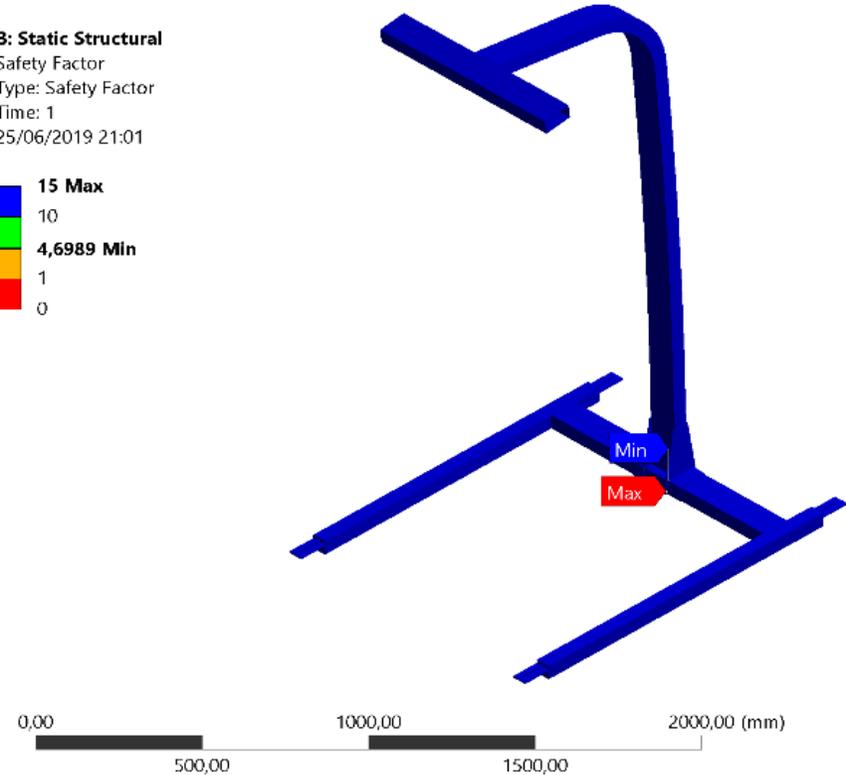
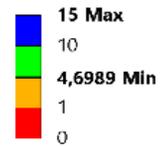
B: Static Structural

Safety Factor

Type: Safety Factor

Time: 1

25/06/2019 21:01



Factor de Seguridad

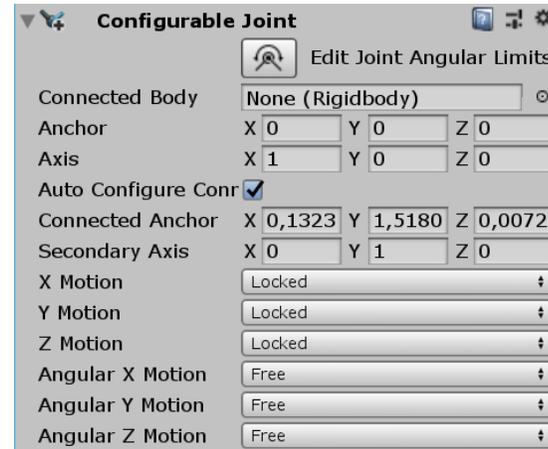
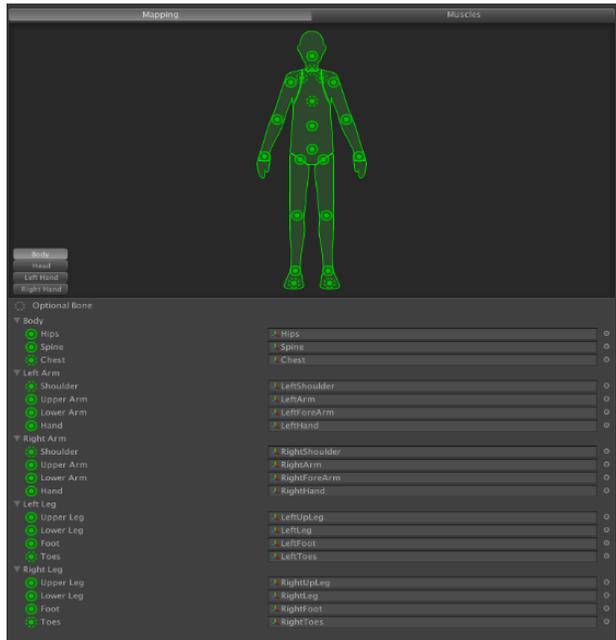
SISTEMA DE TERAPIA INTERACTIVA



CONFIGURACIÓN DE HARDWARE



RANGO DE MOVILIDAD

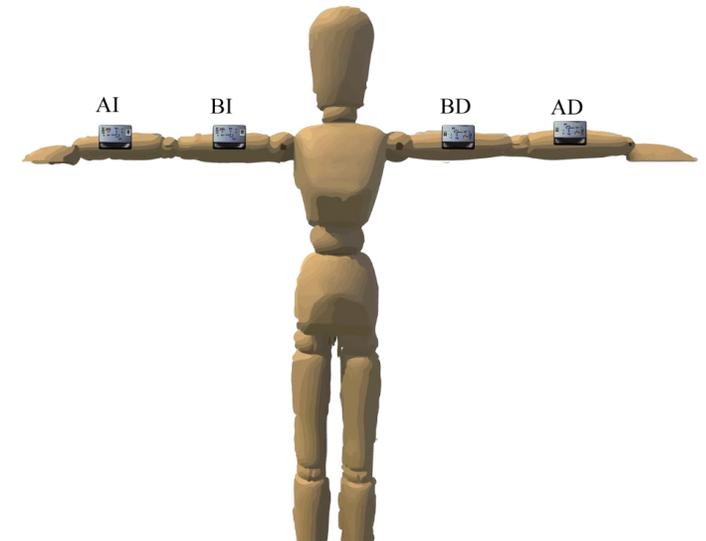
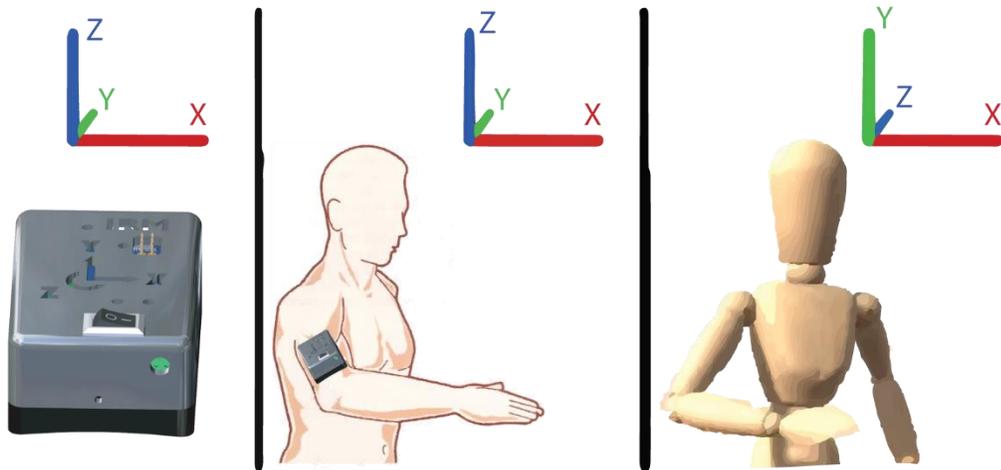


RANGO DE MOVILIDAD

Cuaterniones y Cinemática Directa

$$q_0 = (q_x, q_y, q_z, q_w)$$

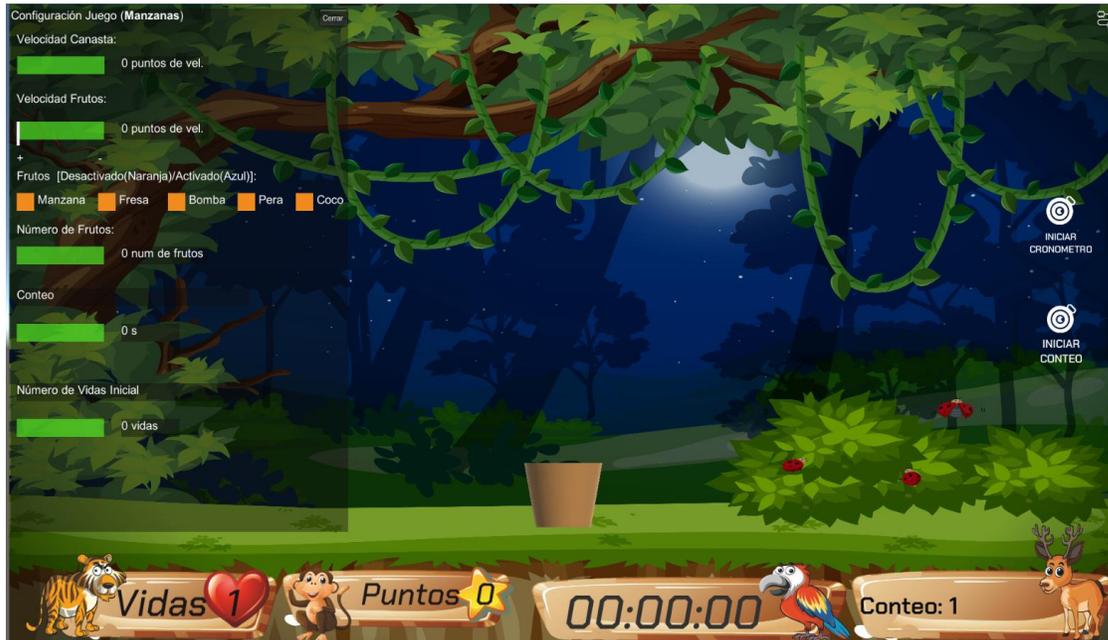
$$p_b = p_t - q_1^{cal} \vec{L} q_1^{cal*}$$



GAMIFICACIÓN

Retroalimentación Auditiva y Visual

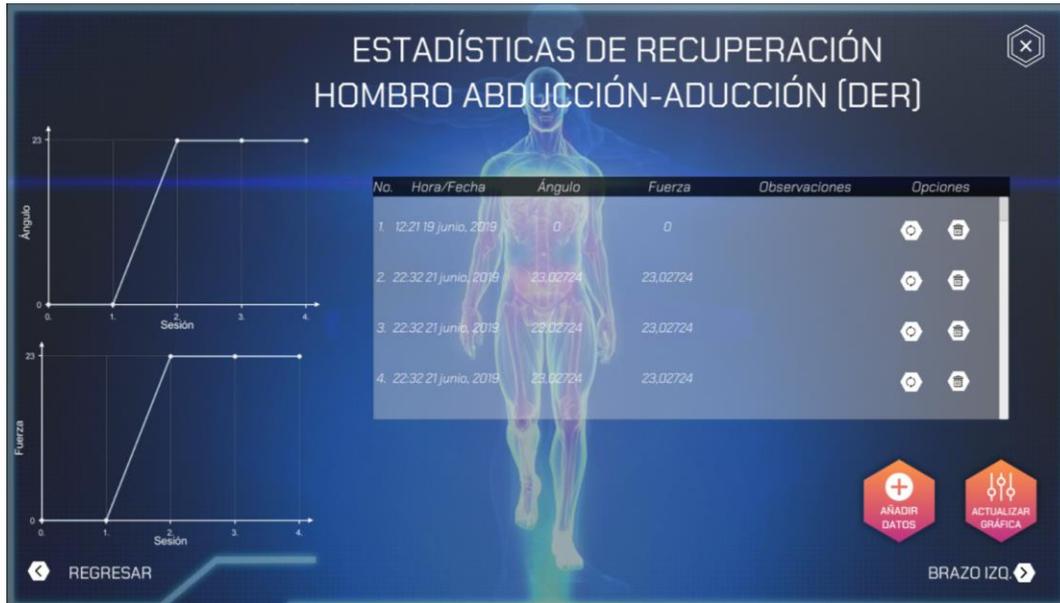
Configuración de Parámetros



GAMIFICACIÓN



ESTADÍSTICAS DE RECUPERACIÓN



Nombres/Apellidos... *Mayra España* 1803456786

Edad... *56* 098765645

Cédula...

Telefonos...

Aceptar Cancelar

No.	Hora/Fecha	Nombres/Apellidos	Cédula	Edad	Teléfonos	Opciones
0.	21:58 22 junio, 2019	Sebastian Escobar	09812345676	65	098786718	
1.	21:59 22 junio, 2019	Mayra España	1803456786	56	098765645	

IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA



PRUEBAS Y RESULTADOS

Sistema de Detección de Movimiento

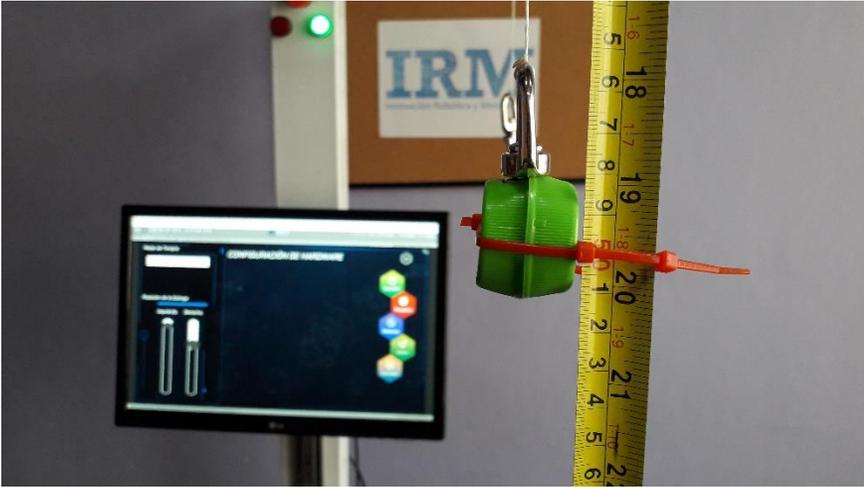


$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (V_m - V_r)^2}{n}}$$

$$RMSE = 0,806058143^{\circ}$$

PRUEBAS Y RESULTADOS

Sistema de Generación de Movimiento



$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (V_m - V_r)^2}{n}}$$

$$RMSE = 4,74 \text{ mm}$$

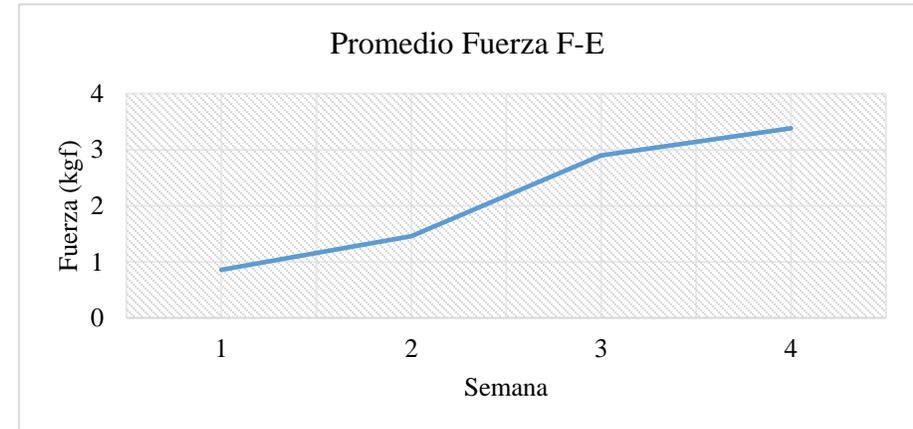
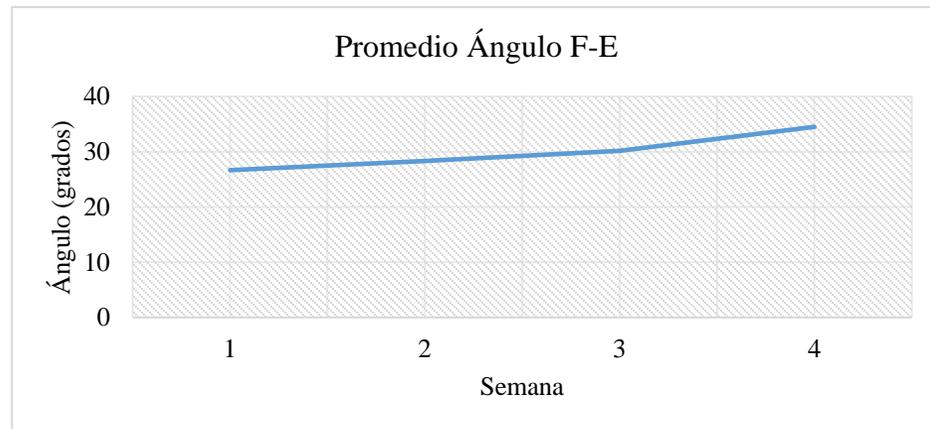
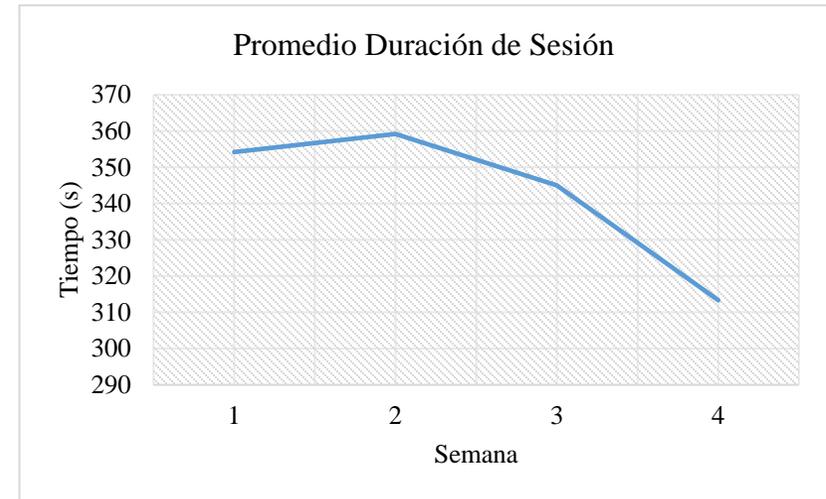
PRUEBAS CON PACIENTES

TEST SEQ

Preguntas	Resultado
	Promedio
Q1. ¿Cuánto disfrutó de la experiencia con el sistema?	4,33
Q2. ¿Cuánto sentiste al estar en el ambiente del sistema?	3,66
Q3. ¿Qué tan exitoso fue su trabajo en el sistema?	4
Q4. ¿Hasta qué punto pudo controlar el sistema?	4,66
Q5. ¿Qué tan real es el entorno virtual del sistema?	4,66
Q6. ¿Es clara la información proporcionada por el sistema?	4,5
Q7. ¿Sintió molestias durante su experiencia con el sistema?	1,66
Q8. ¿Experimentó mareos o náuseas durante su práctica con el sistema?	5
Q9. ¿Experimentó molestias oculares durante su práctica con el sistema?	5
Q10. ¿Se sintió confundido o desorientado durante su experiencia con el sistema?	4,66
Q11. ¿Cree que este sistema será útil para su rehabilitación?	1,66
Q12. ¿Encontró la tarea difícil?	2,33
Q13. ¿Le resultó difícil utilizar los dispositivos del sistema?	3,66
Total	49,80

PRUEBAS CON PACIENTES

Nombres/Apellidos	Edad	Escala Daniels	Diagnóstico	Causa
Sr. Cristian López	34	3	Daño a nivel neuronal, pérdida de movilidad miembro superior derecho	Accidente de Transito
Sr. Sebastián Escobar	45	3	Daño en C3, hemiplejia izquierda	Accidente de Transito
Sra. Gladys Guamán	27	3	Perdida de movilidad miembro superior derecho y rostro	Trombosis debido a estrés, sobrepeso e hipertensión alta



VALIDACIÓN DE LA HIPÓTESIS

- H1: El dispositivo robótico para la terapia de extremidades superiores, tendrá la capacidad de mejorar la movilidad de las extremidades superiores en pacientes con Daño Cerebral Adquirido (DCA).

$$\lambda^2 = \sum_i \sum_j \frac{(O_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}}$$

$$\lambda^2_{Calculado} \geq \lambda^2_{Tabulado}$$

$$255,66 \geq 99,60$$

CONCLUSIONES

El equipo robótico para la rehabilitación de extremidades superiores enfocado a pacientes con daño cerebral adquirido ayuda dentro del proceso de rehabilitación tras las diferentes secuelas ocasionadas por el DCA, ya que se observó sesión tras sesión una recuperación de la movilidad de las extremidades superiores desde 15 a 27° en su rango de movilidad, por medio de terapias interactivas y personalizadas que cuentan con una retroalimentación

El equipo robótico basado en cables cuenta con sesiones interactivas con 49,8 puntos de valoración en nivel de usabilidad, aceptación y seguridad. Y seguridad de rehabilitación virtual, lo que permite un tratamiento de terapia activa para la rehabilitación de extremidades superiores, además el equipo incluye dentro de su interfaz la posibilidad para la realización de terapias pasivas basadas en el control sobre las eslingas, acorde a los requerimientos del fisioterapeuta.

RECOMENDACIONES

- Para una mayor comodidad durante las sesiones de terapia, es necesario usar eslingas con soportes para que la palma de la mano se mantenga en una posición recta, de esta forma se evita el amortiguamiento o amoratamiento de la extremidad superior. También se debe usar un soporte para los pies para que se mantengan en una posición de 30 grados para evitar el cansancio de la extremidad inferior.
- Las primeras sesiones de terapia siempre deben estar guiadas y supervisadas por un fisioterapeuta con la finalidad de precautelar la integridad del paciente, además de conocer in situ las diferentes reacciones positivas o negativas que pudieran ocasionar el equipo robótico.

GRACIAS