



# PROYECTO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE: INGENIERO AUTOMOTRIZ

Estudio del comportamiento mecánico de un bastidor para karting tubular mediante la selección de un tren motriz eléctrico y propuesta de implementación

**AUTOR:**

**HERAS BENAVIDES, JOSÉ DANIEL**

**DIRECTOR**

**ING. IZA TOBAR, HENRY HERIBERTO**





“No pude encontrar el auto deportivo de mis sueños, así que lo fabriqué yo mismo”



Ferdinand Porsche



## Contenido

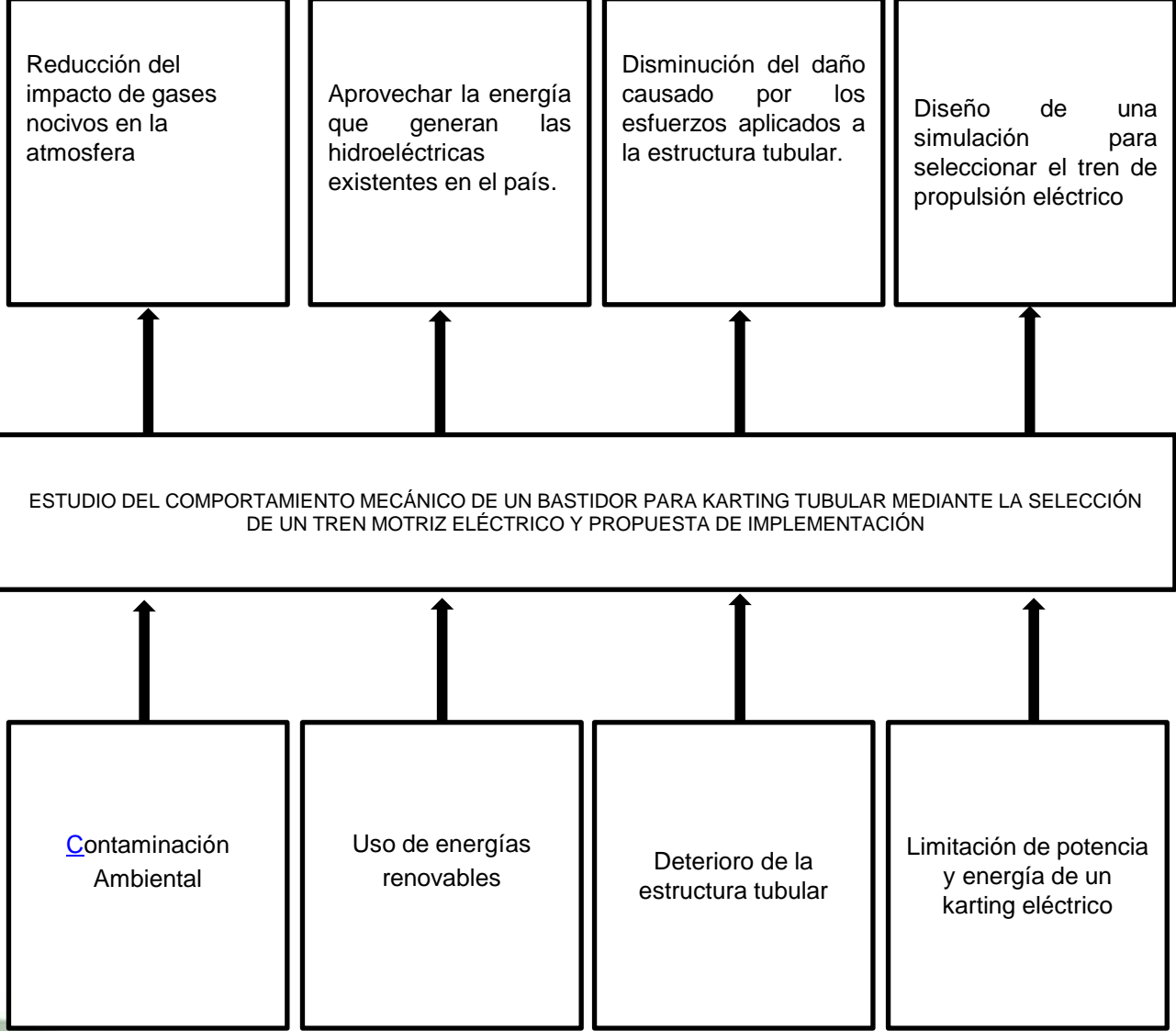
- Objetivos
- Justificación del problema
- Metas
- Hipótesis
- Marco teórico
- Desarrollo de la investigación
- Análisis de resultados
- Conclusiones
- Recomendaciones



## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los gases nocivos emanados por el tubo de escape de los MCI (Motores de Combustión Interna - MCI) hacia el medio ambiente generan contaminación ambiental, destruyendo la capa de ozono y la atmósfera además provoca enfermedades respiratorias a los seres humanos. Con el avance tecnológico en la industria automotriz como es el caso del karting eléctrico, siendo su principal limitante la potencia del motor eléctrico y la energía de las baterías que presentan los mismos y que para ser impulsados necesitan hacer uso de energías renovables.

Con la finalidad de reducir la contaminación ambiental y auditiva, entonces se aprovecharía la energía limpia renovable que producen las hidroeléctricas existente en el país, brindando un bajo costo en el consumo de energía de acuerdo al horario en que se cargue el karting eléctrico. Con el diseño de una simulación que permitirá seleccionar un tren de propulsión eléctrico adecuado y modelamiento 3D del prototipo para la adaptación de sus elementos automotrices se podrá evitar pruebas y errores en la adaptación real y ayudará a escoger un material que sea apropiado para la construcción de su bastidor evitando el deterioro de su estructura tubular generados por los esfuerzos en sus distintos puntos.





## JUSTIFICACIÓN

Las competencias de karting son una gran escuela para los futuros campeones del automovilismo



. La particularidad de los kartings eléctricos es que permiten a los jóvenes estudiantes aprender de una forma más amigable y segura



karting eléctrico ayuda a economizar el costo de mantenimiento del mismo, su consumo de combustible es menor relacionado al consumo de un karting con MCI y es amigable con el medio ambiente





## Meta

**Obtener un modelo de un sistema de propulsión para un karting eléctrico simulado mediante un software de ingeniería para ser implementado con una fiabilidad mayor o igual al 90% y seleccionar el material adecuado del chasis.**



## Hipótesis.

- La utilización del software de ingeniería permitirá optimizar costos en las pruebas y errores de prototipos y contribuirá en la implementación real de los mismos





## OBJETIVO GENERAL

Estudiar el comportamiento mecánico de un bastidor para karting tubular mediante la selección de un tren motriz eléctrico y propuesta de implementación.

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar en fuentes de información acerca de la construcción de un karting eléctrico.
- Realizar un cuadro comparativo del karting eléctrico existente en el mercado.
- Diseñar y modelar un chasis de karting para someterlo a pruebas de esfuerzos mecánicos mediante el uso de software de ingeniería para su validación de resistencia estructural.



- Obtener y calcular los parámetros necesarios requeridos para la ciudad de Latacunga.
- Diseño del tren de propulsión para un karting eléctrico mediante uso del software de ingeniería.
- Realizar un cuadro comparativo de distintos componentes del tren de propulsión eléctrico para el karting diseñado.
- Seleccionar los componentes del tren de propulsión eléctrico disponibles en el mercado.
- Modelar el tren de propulsión eléctrico seleccionado, sistemas auxiliares e implementar en el karting mediante el software de ingeniería.
- Analizar las gráficas obtenidas de acuerdo a la simulación del diseño del tren de propulsión eléctrico en el software de ingeniería.
- Determinar la factibilidad de implementación del sistema de propulsión eléctrica en el karting.



## Go-KARTING

En una disciplina profesional – Forma pilotos automovilísticos aclamados mundialmente

*Art Ingels creador del Primer Kart*



Nota: Tomado de (Montesdeoca, 2021)



## Go-kart

Go-Kart es el nombre que denomina al vehículo monoplaza que no tiene techo, el cual carece de sistema de suspensión y en ocasiones también de elementos de carrocería, tiene cuatro ruedas que mantienen contacto con el piso de la pista



CHARLES LECLERC

**birelART**



**Monoplaza Birel Art**



Partes principales • Bastidor • Motor • neumáticos



## Bastidor

“El chasis es uno de los principales componentes de un kart. Está formado por una estructura, normalmente tubular, que da forma al vehículo y aporta rigidez para soportar los esfuerzos estáticos y dinámicos a los que se somete a lo largo de su vida útil y brinda adicionalmente soporte estructural al resto de elementos.” (Assier & Sara, 2019).

### EJECUCIÓN DE PRUEBAS.

En el dinamómetro se realizaron tres pruebas: primera, el motor del vehículo en condiciones normales, es decir sin desconectar ningún sistema; segunda, desconectando el sistema EGR; y tercera, desconectando el solenoide de purga del sistema EVAP.

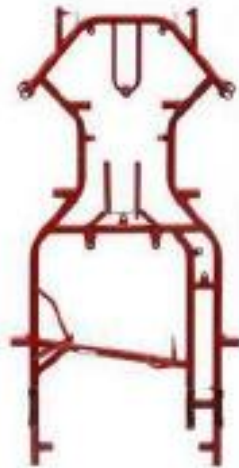






## DESARROLLO DE PRUEBAS EXPERIMENTALES EN LOS SISTEMAS EGR EVAP

Las pruebas experimentales fueron llevadas a cabo en el laboratorio de motores de la ESPE-L, se las realizó a los sistemas EGR y EVAP, enfocándose en comprobar si el rendimiento del motor es afectado o no al estar estos sistemas en malas condiciones de operación, y a su vez conocer si se incrementan las emisiones contaminantes.



- Sodikart
- Tony kart
- Birel Art





CITERIOS DE DISEÑO

**MATERIALES**

ASTM-A36

AISI 304

PROPIEDADES MECÁNICAS

Esfuerzo fluencia (kg/mm<sup>2</sup>)

25.5

68

Esfuerzo tracción (kg/mm<sup>2</sup>)

40.8

80

Elongación %

20

40

COMPOSICIÓN QUÍMICA

%C

≤0.26

0 - 0.08

% Mn

0.80-1.20

0 - 2

%Si

≤0.40

0 - 0.07

%P

≤0.04

0 - 0.04

%S

≤0.05

0 - 0.08

%Cr

18 - 20



## Normativa de diseño

Como en el país no existe una normativa vigente para la construcción de bastidores para go-kart, la norma que se aplica es la establecida por el Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN

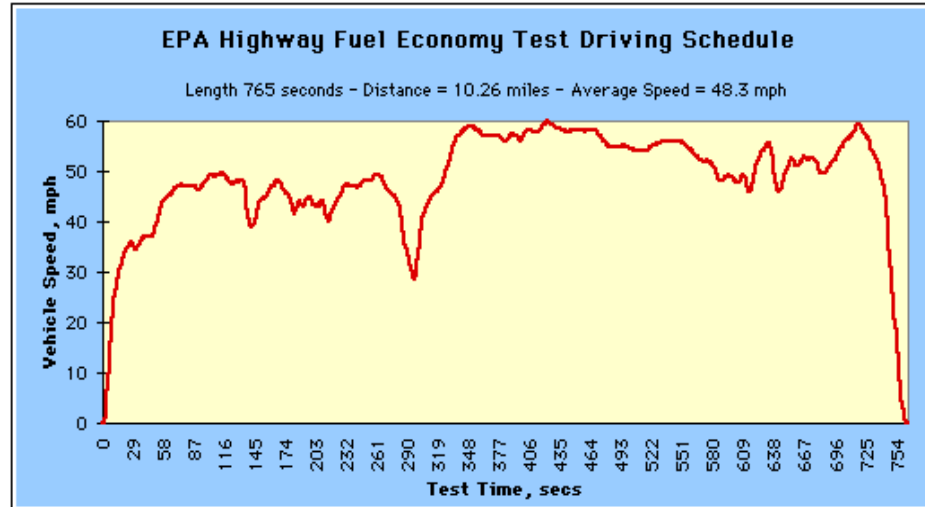
**NTE INEN 1323:2009** VEHÍCULOS AUTOMOTORES. CARROCERIAS DE BUSES

**NTE INEN 2415:2013** TUBOS DE ACERO AL CARBONO SOLDADOS PARA APLICACIONES ESTRUCTURALES Y USOS GENERALES.



## Ciclo de Conducción

La estimación del consumo de combustible del vehículo se lo realiza mediante el Ciclo de prueba de economía de combustible en carretera (*HWFET, Highway Fuel Economy Test Cycle*) para un recorrido en autopista consta de los siguientes parámetros: 765 segundos en un recorrido total de 10.26 millas (16.45 km) y una velocidad promedio de 48,3 mi/h (77,7 km/h).



Nota: Tomado de (EPA, 2021)



## Modelación y simulación mecánica-eléctrica

Para la modelación y simulación se utilizarán el software de diseño asistido por computador-CAD, SolidWorks Student Premium (SFK) 2020 y la plataforma de programación y cálculo numérico MATLAB & Simulink - Mathworks 2022 versión de prueba en línea.

. Factores externos para el presente estudio pero que inciden sobre el mismo son los siguientes: altura máxima, longitud máxima, ancho máximo, distancia entre ejes y características del motor



Para iniciar con la programación y diseño es necesario realizar una investigación previa a características de kartings existentes en el mercado, valores que se tomarán para la selección óptima y adecuada de un tren motriz eléctrico y un chasis para el Karting eléctrico en el kartódromo de Latacunga.



Comparación de karting eléctricos

Kart EV	Motor	Baterías	Peso Total	Dimensiones
<b>SINUS TWIN</b>	2 motores x 2.8 12 kW Torque 45 Nm	16 LiFeMnPo4 60 Ah, 3.2 V	193 kg	L:1900 mm W: 1530 mm H: 600 mm
<b>CAROLI KART</b>	Brushless 15 kW 45 Nm	Li-ion 48V, 60Ah	195 kg	L:1920mm W: 1300 mm H: 600 mm
<b>THE ECOVOLT NG</b>	Permanent magnet Brushless 10.5 KW 45 Nm	LFP 51.2V 3kWh	.....	.....
<b>OTL ELECTRO KART</b>	.....	LiFePO4 48V/90Ah	.....	.....
<b>MODELO SLC</b>	Brushless Asincrono 17 kW 30 Nm	Li-ion 12V, 48Ah	195 kg	L:2100mm W: 1350 mm H: 800 mm
<b>Linde E-DRENALINE</b>	2 motores x 2.6 KW 180 Nm	Li-ion 48V, 100Ah	.....	.....
<b>Rimo</b>	2 motores x 2.8 KW (5,6 KW)	16 x3,2V LiFeMnPo4 60 Ah	186 kg	L:2020mm W: 1390 mm H: 600 mm





## Cálculo de cargas estáticas

CARGA MUERTA	MASA (KG)
Motor y baterías	34.9
Cadena	1
Eje posterior	5
Manguetas delanteras	4.4
Asiento	2
Accesorios (pontones y soportes)	2
Bastidor	16
<b>TOTAL</b>	<b>65.3</b>



### Carga muerta

$$M = Mt * g$$

$$M = 65.3 * 9,81$$

$$M = 640.59 N$$

### Carga viva

$$V = Vt * g$$

$$V = 70 * 9.81$$

$$V = 686.7 N$$



## Cálculo de cargas dinámicas

### Carga de giro

$$G = (Mt + Vt) * \frac{v^2}{r}$$

$$G = (65.3 + 70) * \frac{25^2}{350}$$

$$G = 241.61 \text{ N}$$

### Carga de resistencia al aire frontal

$$Raf = \frac{cx * \rho * Af * v^2}{2}$$

$$Raf = \frac{0.775 * 1.28 * 1.001495 * 25^2}{2}$$

$$Raf = 310.46 \text{ N}$$



Carga de aceleración brusca

$$Ab = Mt * (-a)$$

$$Ab = 65.3 * (-4)$$

$$Ab = -261.2 \text{ N}$$



## Dinámica del vehículo

La dinámica del vehículo se enfoca en todas las fuerzas que se generan e interactúan en el vehículo se detallan a continuación: fuerza aerodinámica, fuerza de arrastre, fuerza de ascenso en pendiente, fuerza neta, fuerza de tracción

- Masa del vehículo
- Coeficiente de rodadura
- Densidad del aire
- Área frontal del vehículo
- Radio dinámico de la rueda
- Porcentaje de pendiente
- Coeficiente aerodinámico



## ***Cálculo de fuerza aerodinámica***

Para encontrar la fuerza aerodinámica, se toma los valores referenciales establecidos por (Ochoa, 2014), alto = 1441 mm, ancho = 695 mm, y el coeficiente aerodinámico  $C_d = 0.775$ .

La velocidad máxima del ciclo de conducción HWFET es de 95,84 km/h  
equivalente a 26,62 m/s.

$$A = b \times h$$

$$A = 1,441 \text{ mm} \times 0.695 \text{ mm}$$

$$A = 1.001495 \text{ m}^2$$





Entonces el valor de la fuerza aerodinámica es:

$$F_{ad} = \frac{1}{2} \rho * A * C_d * v^2$$

$$F_{ad} = \frac{1}{2} \left( 1.28 \frac{kg}{m^3} \right) * 1.001495 m^2 * 0.775 * 26.62^2$$

$$F_{ad} = 352.0031 N$$

V[km/h]	V[m/s]	$F_{ad}$ [N]
0	0	0
15	4.16	8.59
30	8.33	34.47
80	22.22	245.25
95	26.39	345.95

Valores de la fuerza aerodinámica según la velocidad de 0 - 95 km/h



## Cálculo de fuerza de Fricción.

El coeficiente de arrastre o rozamiento  $\mu$  esta en función del terreno o superficie donde el karting circula.

Superficie			
Grava sin alquitrán	0.02 - 0.04	Hormigón	0.015 - 0.025
Adoquinado	0.015 - 0.03	Asfalto	0.01 - 0.02
Tierra sin firme	0.015 - 0.03	Arena	0.015 - 0.03

Como la pista del kartódromo de Latacunga es de asfalto y los valores oscilan de 0.01 a 0.02, el valor promedio es 0.015 como coeficiente de arrastre.



El valor del porcentaje de la pendiente se obtiene mediante el programa Google Earth

$$\psi = 6.4 \%$$

$$\psi = \tan^{-1}\left(\frac{6.4}{100}\right)$$

$$\psi = 3.6619^\circ$$

$$\psi = 0.0639 \text{ rad}$$





$$F_{rr} = u_{rr} * mg * \cos\psi$$

$$F_{rr} = 0.015 * 195 \text{ Kg} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * \cos(0.0639)$$

$$F_{rr} = 28.64 \text{ N}$$



## ***Cálculo de la fuerza en pendiente***

$$F_{hc} = m * g * \sin(\psi)$$

$$F_{hc} = 195 \text{ Kg} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * \sin(0.0639 \text{ rad})$$

$$F_{hc} = 122.15 \text{ N}$$



## Cálculo de la fuerza neta

$$Y_m = 1,04 + 0.0025 * (\varepsilon_{caja} * \varepsilon_{Dif})^2$$

$$Y_m = 1,04 + 0.0025 * (1 * 1.17)^2$$

$$Y_m = 1.043$$

$$F_{nt} = Y_m * m * a$$

$$F_{nt} = 1.043 * 195 \text{ Kg} * 0 \left(\frac{m}{s^2}\right)$$

$$F_{nt} = 0 \text{ N}$$



## ***Cálculo de la fuerza de tracción***

$$F_{te} = F_{ad} + F_{rr} + F_{hc} + F_{nt}$$

$$F_{te} = 352.0031 \text{ N} + 28.69 \text{ N} + 122.15 \text{ N} + 0$$

$$F_{te} = 502.87 \text{ N}$$





### ***Cálculo del torque requerido en la rueda***

$$T_r = F_{te} * r$$

$$T_r = 502.87N * 0.1085m$$

$$T_r = 54.56 Nm$$

### ***Cálculo de la potencia mecánica***

$$P_m = F_{te} * v$$

$$P_m = 502.87 N * 26.62 m/s$$

$$P_m = 13.38 Kw$$

### ***Cálculo de la potencia eléctrica***

$$P_{elec} = \frac{P_m}{\text{eficiencia del motor}}$$

$$P_{elec} = \frac{13.38 kW}{0.92}$$

$$P_{elec} = 14.54 kW$$



## ***Cálculo de la energía de las baterías***

$$\text{autonomía} = \frac{12v * 5.6 \text{ Km}}{1v}$$

$$\text{autonomía} = 67.2 \text{ Km}$$



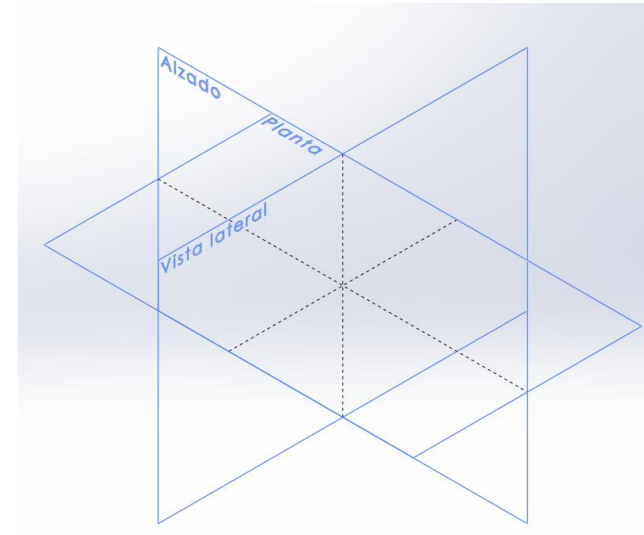
## Resumen de resultados

Tabla de resumen de parámetros			
$F_{ad}$	352.0031 N	$P_{elec}$	14.54 kW
$\rho$	$1.28 \frac{kg}{m^3}$	autonomía	67.2 km
$C_d$	0.775	$u_{rr}$	0.015
$v$	26.62 m/s	$m$	195 Kg
$A$	$1.001495 m^2$	$g$	$9.81 \frac{m}{s^2}$
$F_{rr}$	28.64 N	$\psi$	6.4% – 0.0639 rad
$\varepsilon_{caja}$	1	$F_{hc}$	122.15 N
$\varepsilon_{Dif}$	1.17	$F_{nt}$	0
$F_{te}$	502.87 N	$Y_m$	1.043
$T_r$	54.56 Nm	$a$	0
$r$	0.1085 m	$P_m$	13.38 kW
$M$	640.59 N	$F$	261,2 N
$V$	686.7 N	$a$	$4 \frac{m}{s^2}$
$M_t$	65,3 kg	$G$	241.61 N
$V_t$	70 kg	$A_f$	$1.001495 m^2$
$C_x$	0.775	$R_{af}$	310.46 N
$Ab$	261.2 N		



## Diseño del bastidor Reglamento Técnico del Karting

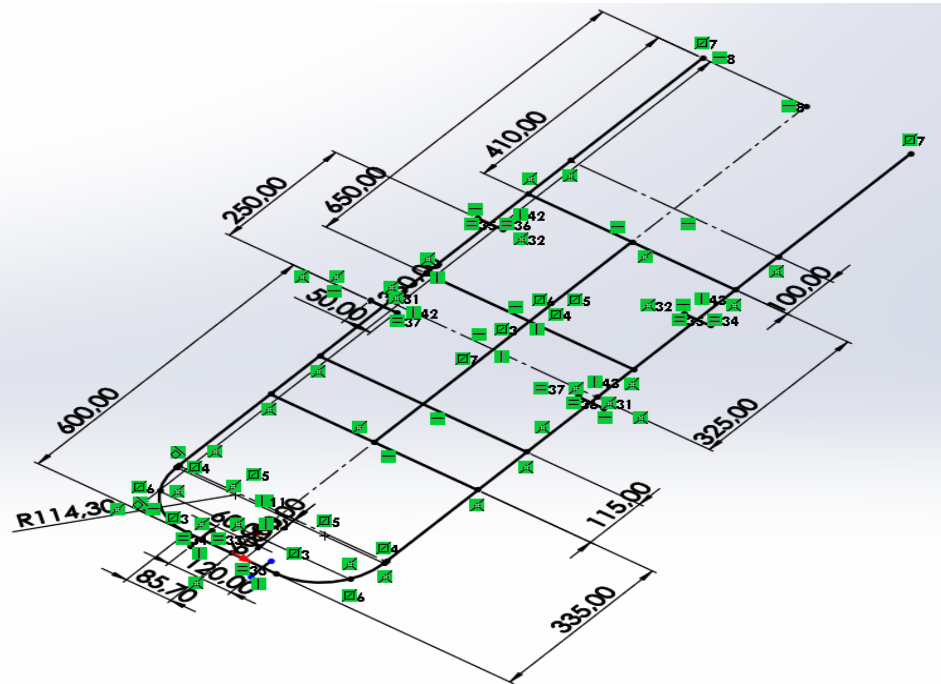
- Distancia entre ejes de 1010 a 1270 *mm*
- Ancho mínimo 2/3 de la distancia entre ejes
- Longitud máxima 1820 *mm*
- Ancho máximo 1040 *mm*
- Altura máxima 600 *mm*





## Diseño en 3D esquemático de un karting

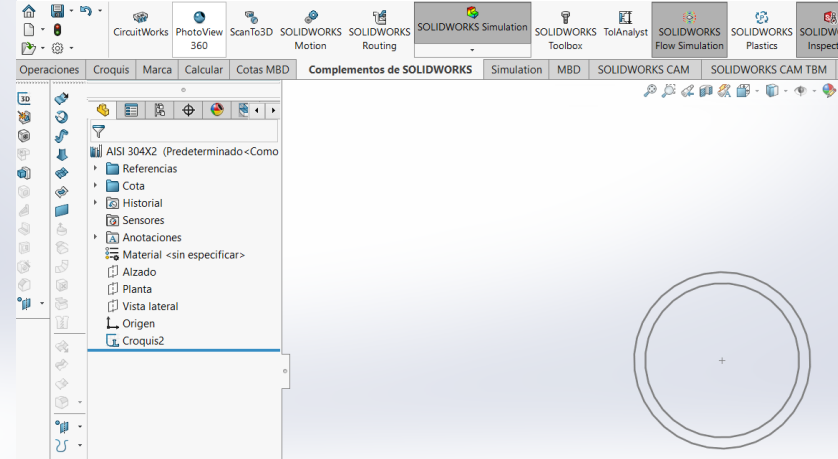
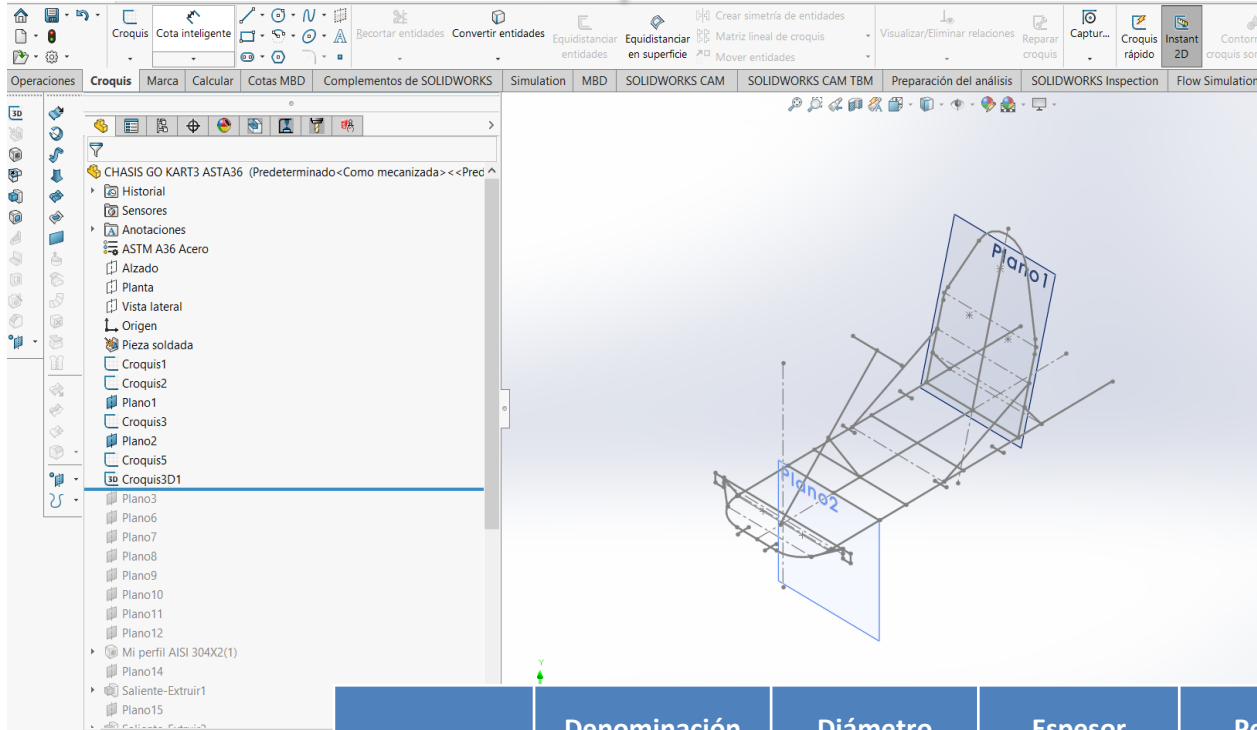
Se inicia realizando la estructura por partes en 2D, para lo cual se utilizó SolidWorks Student 2020, herramienta de vital importancia en este proyecto ya que es la que permite la creación de las geometrías en 2D, 3D y adicional el análisis estructural para la verificación de los puntos críticos internos y externos en la pieza





## Sujeción del espaldar

## Perfil personalizado



## Norma INEN 2415

Sección	Denominación (in)	Diámetro exterior (mm)	Espesor (mm)	Peso (kg/m)	Cantidad (unidad)
<b>Tubería Estructural Norma INEN 2415</b>					
Redondo	$\frac{3}{4}$	19.05	1.5	0.67	1
Redondo	$1\frac{1}{4}$	31.75	2	1.48	1



## Especificaciones Generales:

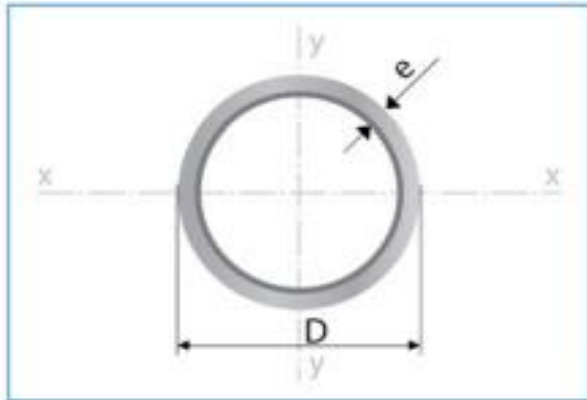
**Descripción:** tubo redondo inoxidable 304 acabado N4 pulido. Largo 6 mts

DIMENSIONES			PROPIEDADES	
plg	mm	ESPESOR	PESO	PESO
		mm	Kg/mt	Kg/6mt
3/8"	9,52	1	0,21	1,27
3/8"	9,52	1,2	0,25	1,49
3/8"	9,52	1,5	0,30	1,8
3/8"	9,52	2	0,38	2,25
1/2"	12,7	1	0,29	1,75
1/2"	12,7	1,2	0,34	2,06

DIMENSIONES			PROPIEDADES	
plg	mm	ESPESOR	PESO	PESO
		mm	Kg/mt	Kg/6mt
1"	25,4	1,5	0,89	5,36
1"	25,4	2	1,17	6,99
1 1/4"	31,8	1	0,77	4,6
1 1/4"	31,8	1,2	0,92	5,49
1 1/4"	31,8	1,5	1,13	6,79
1 1/4"	31,8	2	1,49	8,91

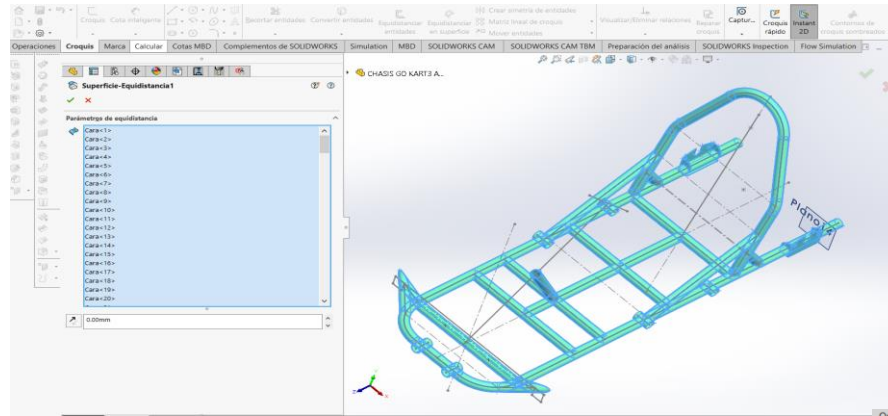
DIMENSIONES			PROPIEDADES	
plg	mm	ESPESOR	PESO	PESO
		mm	Kg/mt	Kg/6mt
2 1/2"	63,5	1,2	1,86	11,17
2 1/2"	63,5	1,5	2,32	13,9
2 1/2"	63,5	2	3,06	18,38
3"	76,2	2	3,70	22,18
4"	101,6	2	4,96	29,77
5"	127	2	6,23	37,36





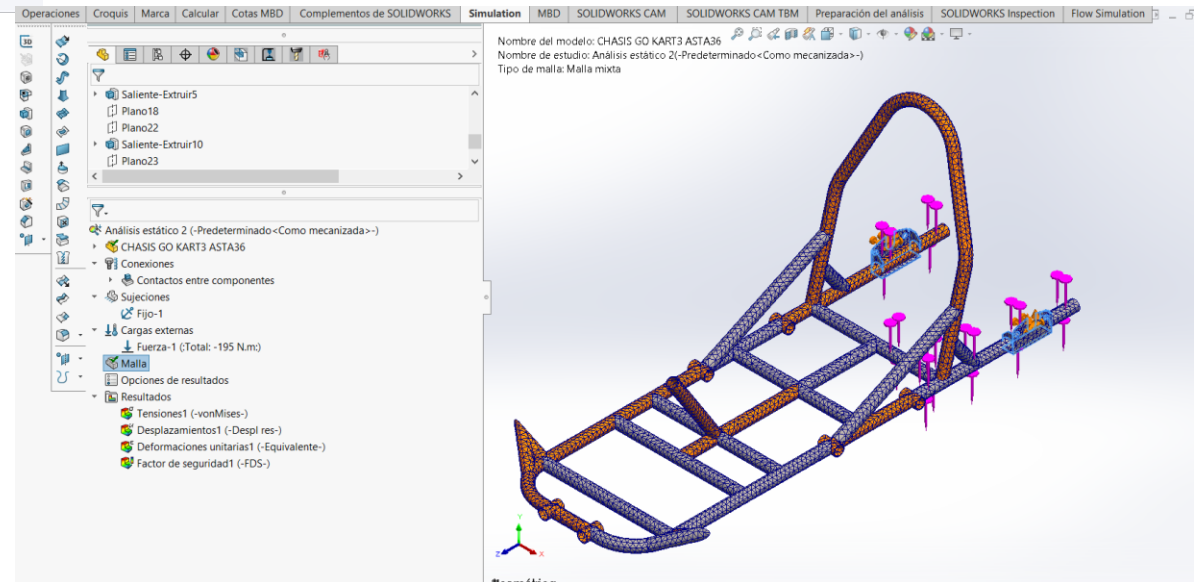
Largo Normal:  
6 metros  
Recubrimiento:  
Negro o Galvanizado  
Calidad de Acero:  
JIS G 3132, ASTM A 36 y ASTM  
A572 Gr 50  
Norma de Fabricación:  
ASTM A 500/ NTE INEN 2415  
Espesores:  
Desde 1.40 a 6.00 mm

Designaciones		Área	Peso	Propiedades Estáticas			
Diámetro Exterior	Espesor			Flexión			
				Momento de inercia	Módulo de resistencia	Radio de giro	
D	e	A	P	I	W	i	
pulg.	mm	cm <sup>2</sup>	kg/m	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	
3/4	19,10	1,40	0,78	0,61	0,30	0,32	0,63
		1,50	0,83	0,65	0,32	0,34	0,62
		1,80	0,98	0,77	0,37	0,39	0,61
		2,00	1,07	0,84	0,39	0,41	0,61
7/8	22,20	1,40	0,92	0,72	0,50	0,45	0,74
		1,50	0,98	0,77	0,53	0,47	0,73
		1,80	1,16	0,91	0,61	0,55	0,72
		2,00	1,27	1,00	0,66	0,59	0,72
1	25,40	1,40	1,06	0,83	0,76	0,60	0,85
		1,50	1,13	0,88	0,81	0,64	0,85
		1,80	1,33	1,05	0,93	0,74	0,84
		2,00	1,47	1,15	1,01	0,80	0,83
1 1/4	31,80	1,40	1,33	1,05	1,54	0,97	1,07
		1,50	1,43	1,12	1,63	1,03	1,07
		1,80	1,69	1,33	1,91	1,20	1,06
		2,00	1,87	1,47	2,08	1,31	1,05
1 1/2	38,10	1,40	1,61	1,27	2,72	1,43	1,30
		1,50	1,72	1,35	2,89	1,52	1,30
		1,80	2,05	1,61	3,39	1,78	1,28
		2,00	2,27	1,78	3,71	1,95	1,28
1 3/4	44,50	1,40	1,89	1,49	4,39	1,98	1,52
		1,50	2,02	1,59	4,67	2,10	1,50



**Colocación del perfil personalizado**

**Mallado**





## Diseño del sistema de propulsión eléctrico en el software Matlab Simulink versión prueba en línea

Se tomará en cuenta para el diseño del sistema de propulsión eléctrico los parámetros de entrada como:

- Masa
- Gravedad
- Coeficiente de rodadura
- Coeficiente aerodinámico
- Densidad del aire
- Área del karting
- Radio dinámico del neumático



SIMULATION    DEBUG    MODELING    FORMAT    APPS

Open Save Print Library Browser Log Signals Add Viewer Signal Table Stop Time t(end) Normal Fast Restart Step Back Run Step Forward Stop Data Inspector Logic Analyzer Bird's-Eye Scope

Model Browser DANIELEV

## ELECTRIC KARTING

By: Ing. Daniel Heras

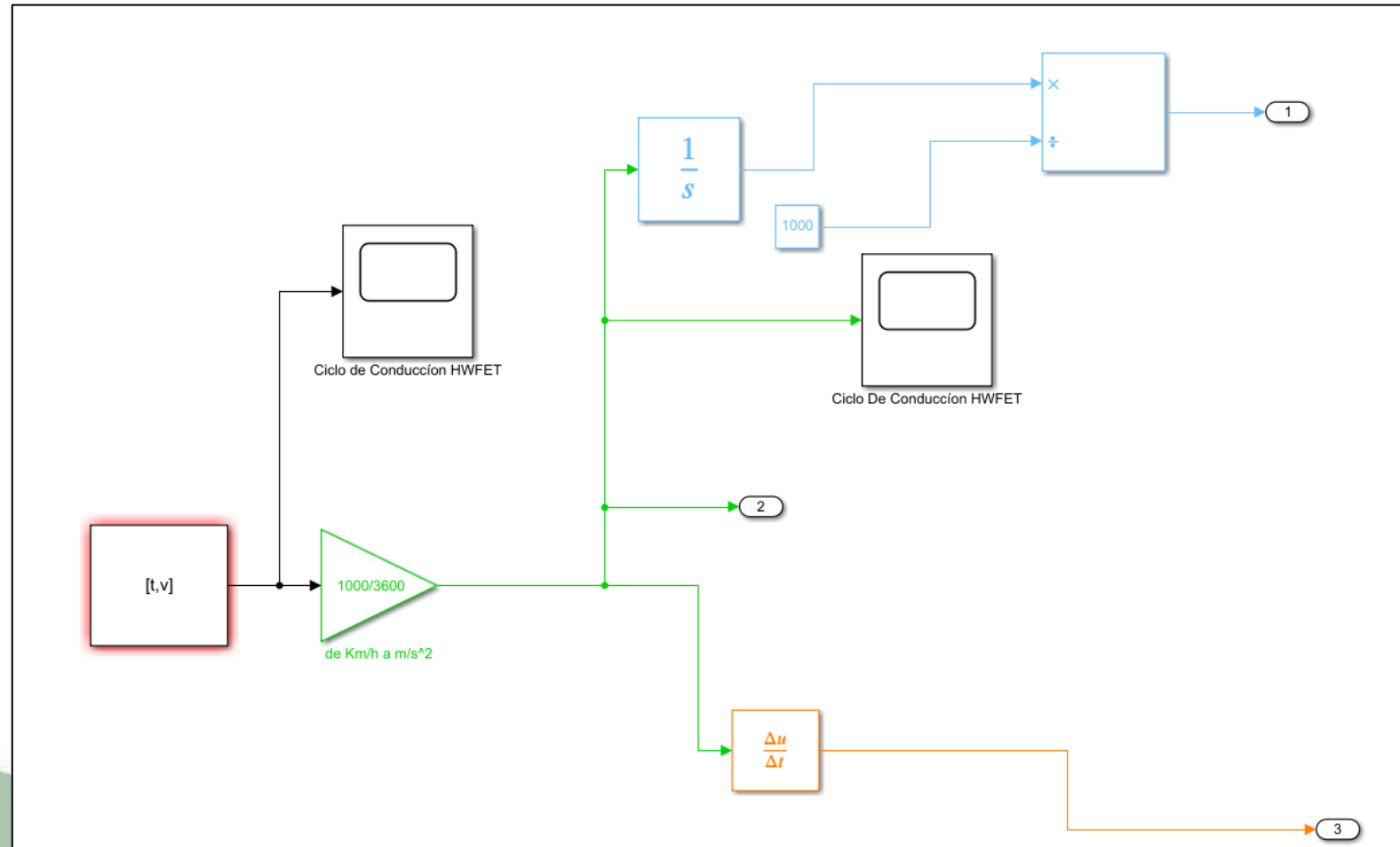
The diagram illustrates the components of an electric karting system. On the left, a photograph shows the 'KARTODROMO COTOPAXI' track. In the center, a photograph shows a colorful electric kart. To the right, a schematic diagram labeled 'POWER TRAIN' shows a battery pack connected to a motor and a controller. Further right, a schematic labeled 'BATTERY MODEL HV' shows a battery pack connected to a power distribution unit with multiple output lines.

KARTODROMO COTOPAXI    POWER TRAIN    BATTERY MODEL HV



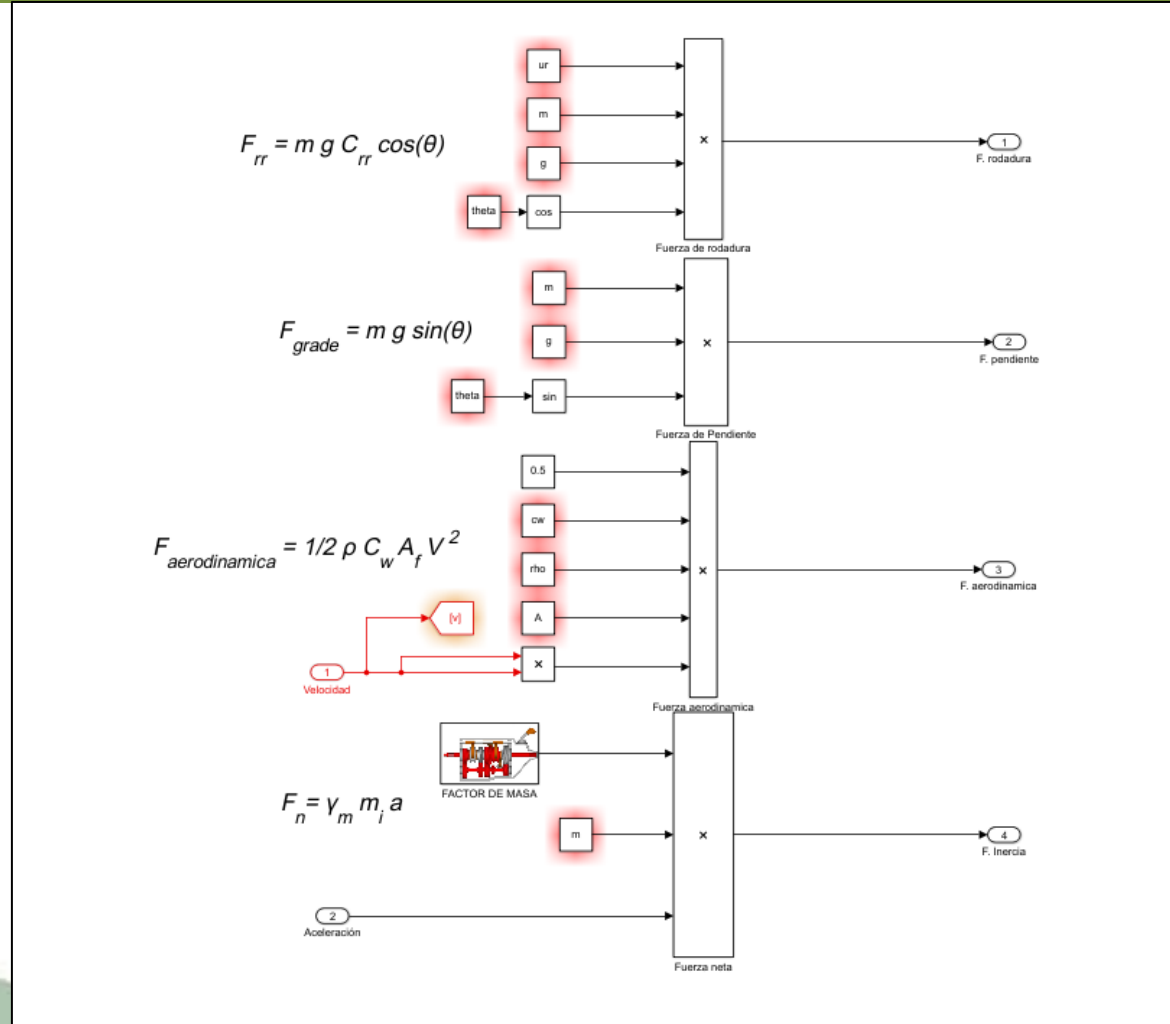


## Ciclo de conducción



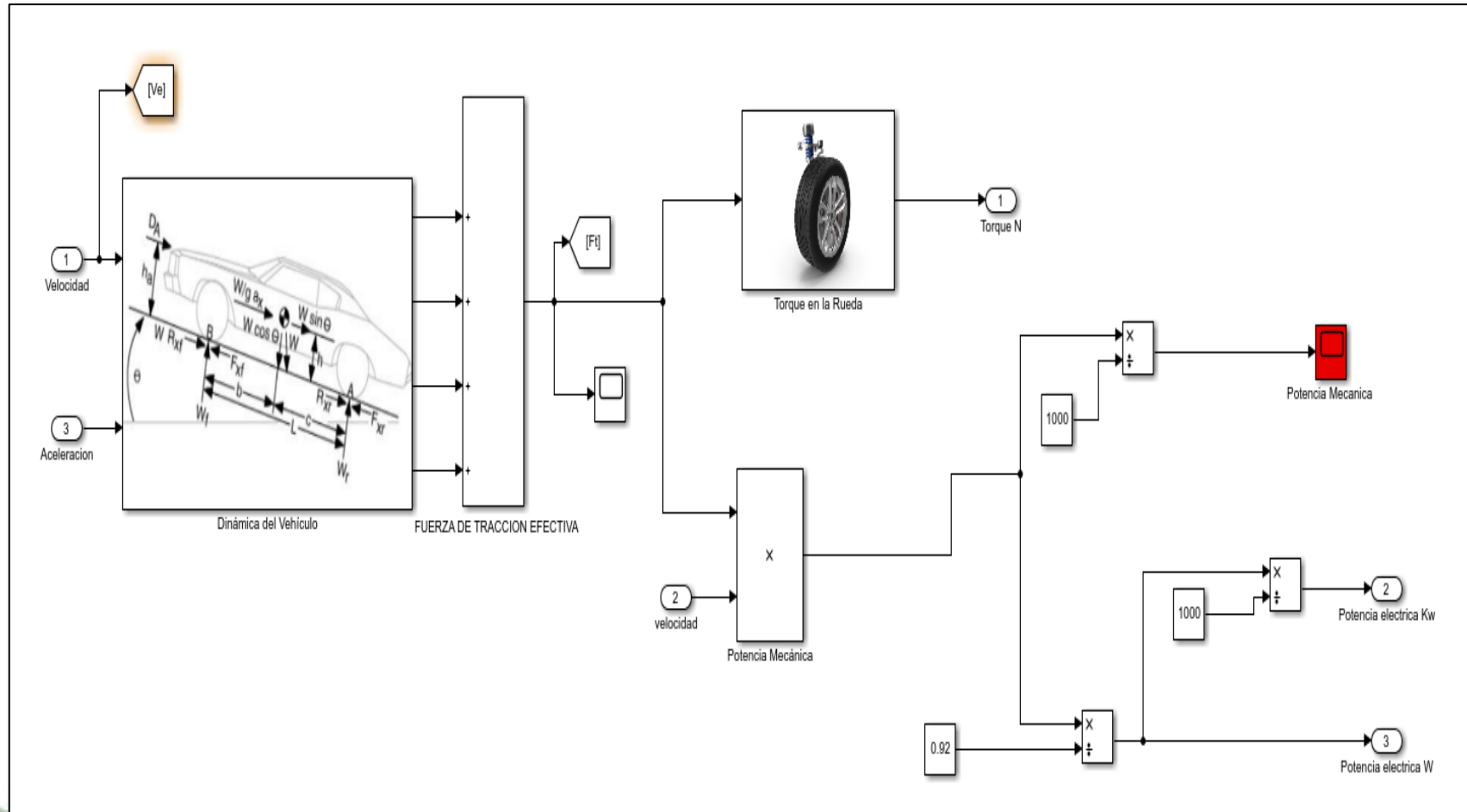


## Dinámica del vehículo en Simulink versión prueba en línea





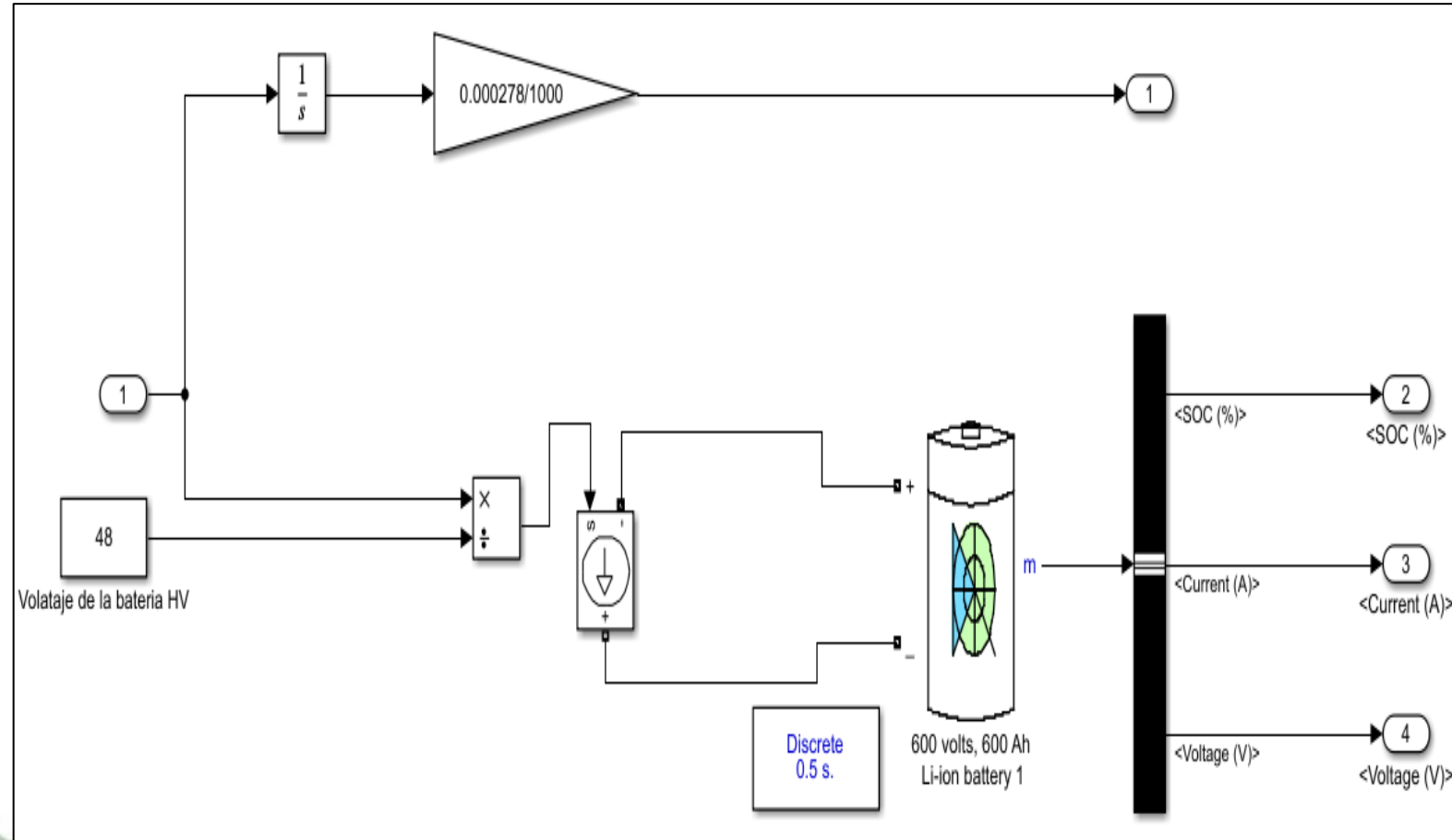
## Tren de propulsión eléctrica







## Modelado de la batería





## Comparación de baterías (Litio) de alta tensión existentes en el mercado

Marca	GBS de Segunda Generación Li-ion	Samsung INR
Química	Litio-Hierro-Fosfato (LiFeMnPO <sub>4</sub> )	LiNiMnCoO <sub>2</sub>
Forma	Prismática	Cilíndrica
Voltaje nominal (V)	12.8 V (4 celdas X 3.2 V)	42.9-54.6 6P13S (78 celdas)
Capacidad nominal	40Ah	-----
Energía (Wh)	512	505
Peso	6.6 kg	-----
Dimensiones (cm)	12.5 X 20.8 X 18.0	6.985 x13.97x23.87
Corriente de carga máxima	3C	-----
Corriente de descarga máxima	3C (de forma continua) / 10C (de forma momentánea)	-----
Ciclo de vida	>2000	-----
Temperatura de operación	-20 a 65°C	-----



## Comparación de motores eléctricos existentes en el mercado

Modelo	BSR 2.0 ELECTRIC POWER 7kW	BSR 2.0 ELECTRIC POWERR 15Kw	BSR 2.0 ELECTRIC POWER 20kW	BSR 2.0 ELECTRIC POWERWER 25kW
Tipo	PMSM brushless	PMAC brushless	PMAC brushless	PMAC brushless
Potencia continua (kW)	7	15	20	25
Torque (Nm)	52.5	67	117	171
Relación de transmisión	1.7	1.7	1.9	1.7
RPM máx.	3200	3200	5000	4200
Velocidad máx. (Km/h)	90	100	120	120
Refrigeración	Por aire	Por aire	Por aire	Por aire
Voltaje de operación (V)	48	48	96	96
Eficiencia (%)	92	92	92	92
Peso (Kg)	17.4	18.5	20.9	24.5



## Comparación de convertidores DC/DC existentes en el mercado

Modelo	Green Galaxy	SEVCON
Voltaje de operación (V)	36-72	96-144
Eficiencia máxima (%)	≥88	≥88
Clasificación del empaquetamiento	IP 65	IP 65
Temperatura de operación	20°C-+60°C	20°C-+60°C
Salida de voltaje	13.8V±0.2V @0A, >12V @50ª	13.8V±0.2V @0A, >12V @50A
Corte automático de bajo voltaje (V)	30	80
Protección	IP66	IP66



## Comparación de controladores de motores eléctricos existentes en el mercado

Modelo	SEVCON	SEVCON	SEVCON
<b>Compatible</b>	Opera con motores PMAC	Opera con motores PMAC	Opera con motores PMAC
<b>Voltaje de operación (V)</b>	38-48	38-48	96-120
<b>Voltaje máximo de operación (V)</b>	69.6	69.6	150
<b>Amperaje (A)</b>	275	450	300
<b>Capacidad de frenado regenerativo</b>	SI	SI	SI
<b>Interface CAN bus para comunicación y programación</b>	SI	SI	SI
<b>Electrónica y programación a prueba de fallas en la operación</b>	SI	SI	SI
<b>Protección</b>	IP66	IP66	IP66
<b>Fusible integrado</b>	SI	SI	SI



## Comparación de cargadores existentes en el mercado

Modelo	BSR 2.0 ELECTRIC POWERWER 7kW	BSR 2.0 ELECTRIC POWER 15kW	BSR 2.0 ELECTRIC POWER 20kW	BSR 2.0 ELECTRIC POWER 25kW
Conector	AC	AC o DC/DC	AC o DC/DC	AC o DC/DC
Voltaje de Carga (V)	48	48	96	96
Corriente de carga (A)	20	30	40	40
Refrigeración	Por aire	Por aire	Por aire	Por aire
Peso (Kg)	2.5	5.5	3.5	6.5



## Análisis de Resultados

Se analizarán los factores correspondientes a los resultados obtenidos del kit y piezas que conforma el karting eléctrico en estudio, por ello se aplicaron las cargas determinadas con las propiedades propias del material AISI 304 y el acero ASTM A36 los mismos que fueron seleccionados en base a la reglamentación de la FIA y CIK, para un análisis exhaustivo con los diferentes softwares.





# Análisis estáticos de esfuerzos en el chasis

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	190000	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente de Poisson	0.29	N/D
Módulo cortante	75000	N/mm <sup>2</sup>
Densidad de masa	8000	kg/m <sup>3</sup>
Límite de tracción	517.017	N/mm <sup>2</sup>
Límite de compresión		N/mm <sup>2</sup>
Límite elástico	206.807	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente de expansión térmica	1.8e-05	/K
Conductividad térmica	16	W/(m·K)
Calor específico	500	J/(kg·K)

Acero AISI 304

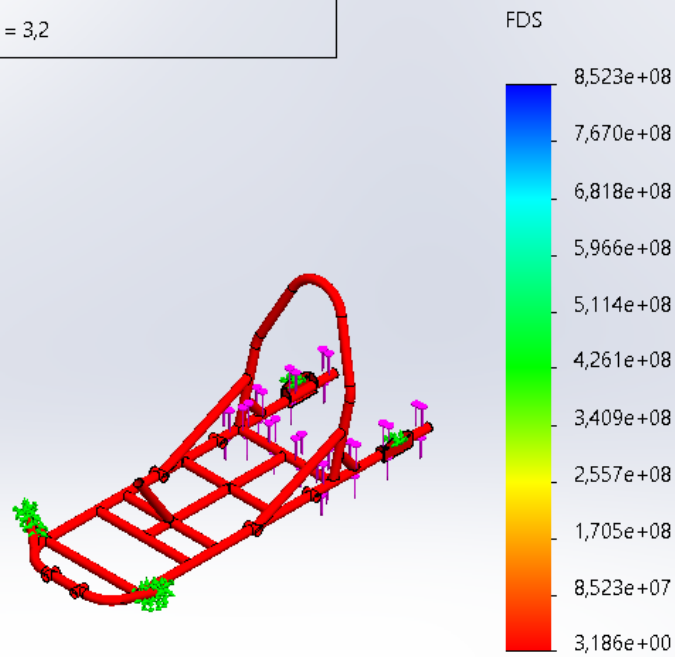
Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	200000	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente de Poisson	0.26	N/D
Módulo cortante	79300	N/mm <sup>2</sup>
Densidad de masa	7850	kg/m <sup>3</sup>
Límite de tracción	400	N/mm <sup>2</sup>
Límite de compresión		N/mm <sup>2</sup>
Límite elástico	250	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente de expansión térmica		/K
Conductividad térmica		W/(m·K)
Calor específico		J/(kg·K)

Acero ASTM A-36



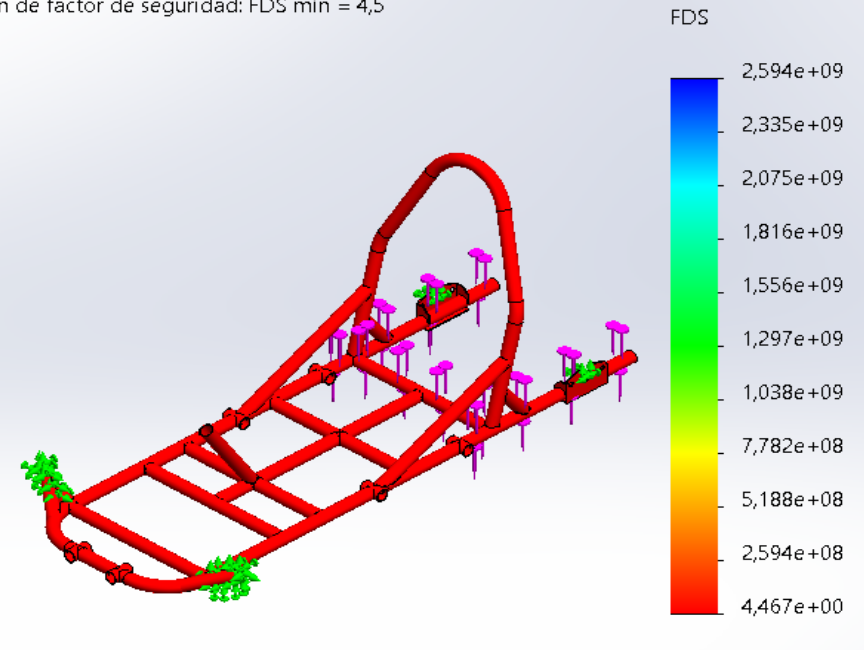
## Factor de seguridad

Nombre del modelo: CHASIS GO KART3.2  
Nombre de estudio: Análisis estático 2(-Predeterminado<Como mecanizada>-)  
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1  
Criterio: Automático  
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 3,2



Acero AISI 304

Nombre del modelo: CHASIS GO KART3 ASTM 363.2  
Nombre de estudio: Análisis estático 2(-Predeterminado<Como mecanizada>-)  
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1  
Criterio: Automático  
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 4,5

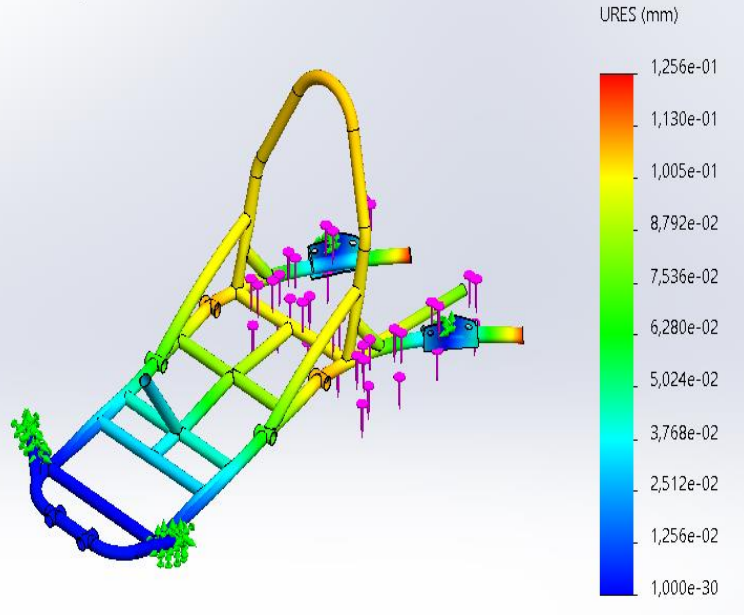


Acero ASTM A-36



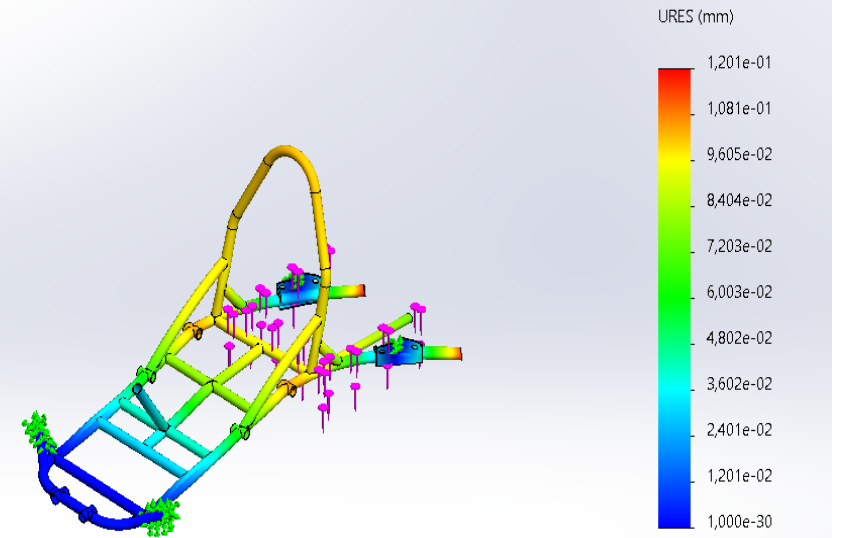
## Desplazamiento del material

Nombre del modelo: CHASIS GO KART3  
Nombre de estudio: Análisis estático 2(-Predeterminado<Como mecanizada>-)  
Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1  
Escala de deformación: 1.111,68



Acero AISI 304

Nombre del modelo: CHASIS GO KART3 ASTA36  
Nombre de estudio: Análisis estático 2(-Predeterminado<Como mecanizada>-)  
Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1  
Escala de deformación: 1.163,02

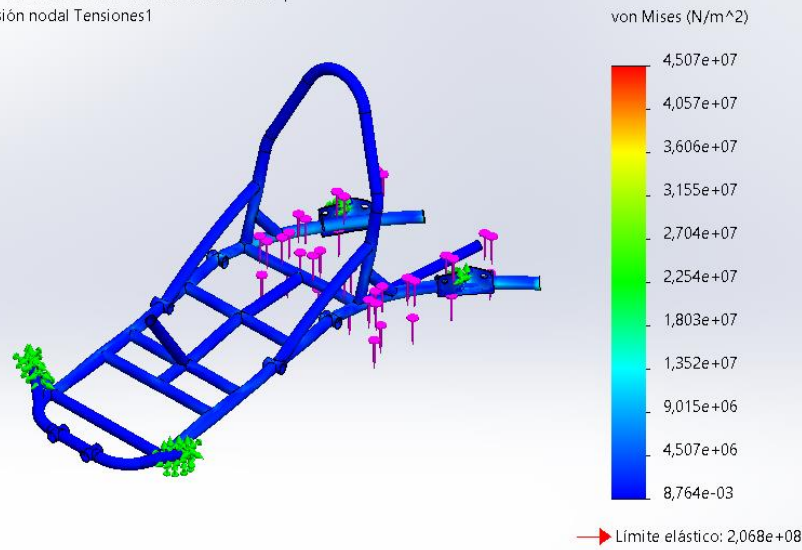


Acero ASTM A-36



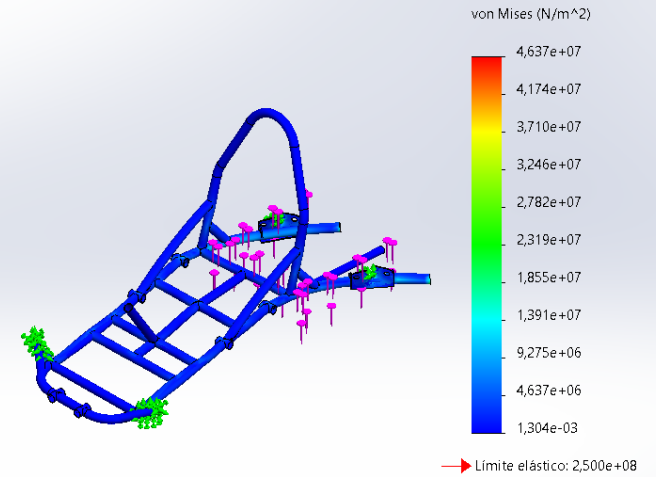
## Esfuerzo de Von Mises

Nombre del modelo: CHASIS GO KART3  
Nombre de estudio: Análisis estático 2(-Predeterminado<Como mecanizada>-)  
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1  
Escala de deformación: 1.111,68



Acero AISI 304

Nombre del modelo: CHASIS GO KART3 ASTA36  
Nombre de estudio: Análisis estático 2(-Predeterminado<Como mecanizada>-)  
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1  
Escala de deformación: 1.163,02

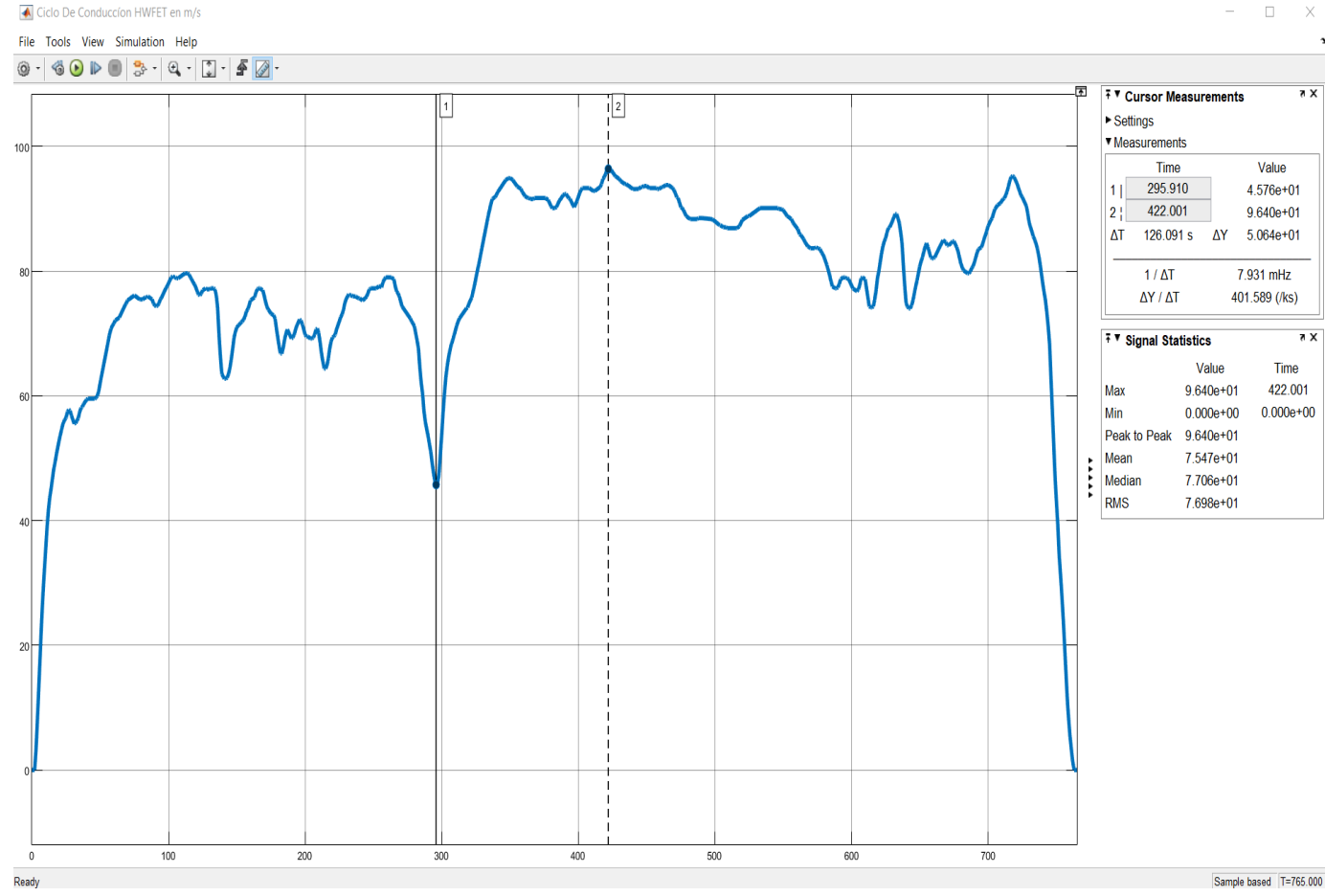


Acero ASTM A-36



# Análisis de MATLAB – Simulink versión de prueba en línea

Velocidad vs Tiempo



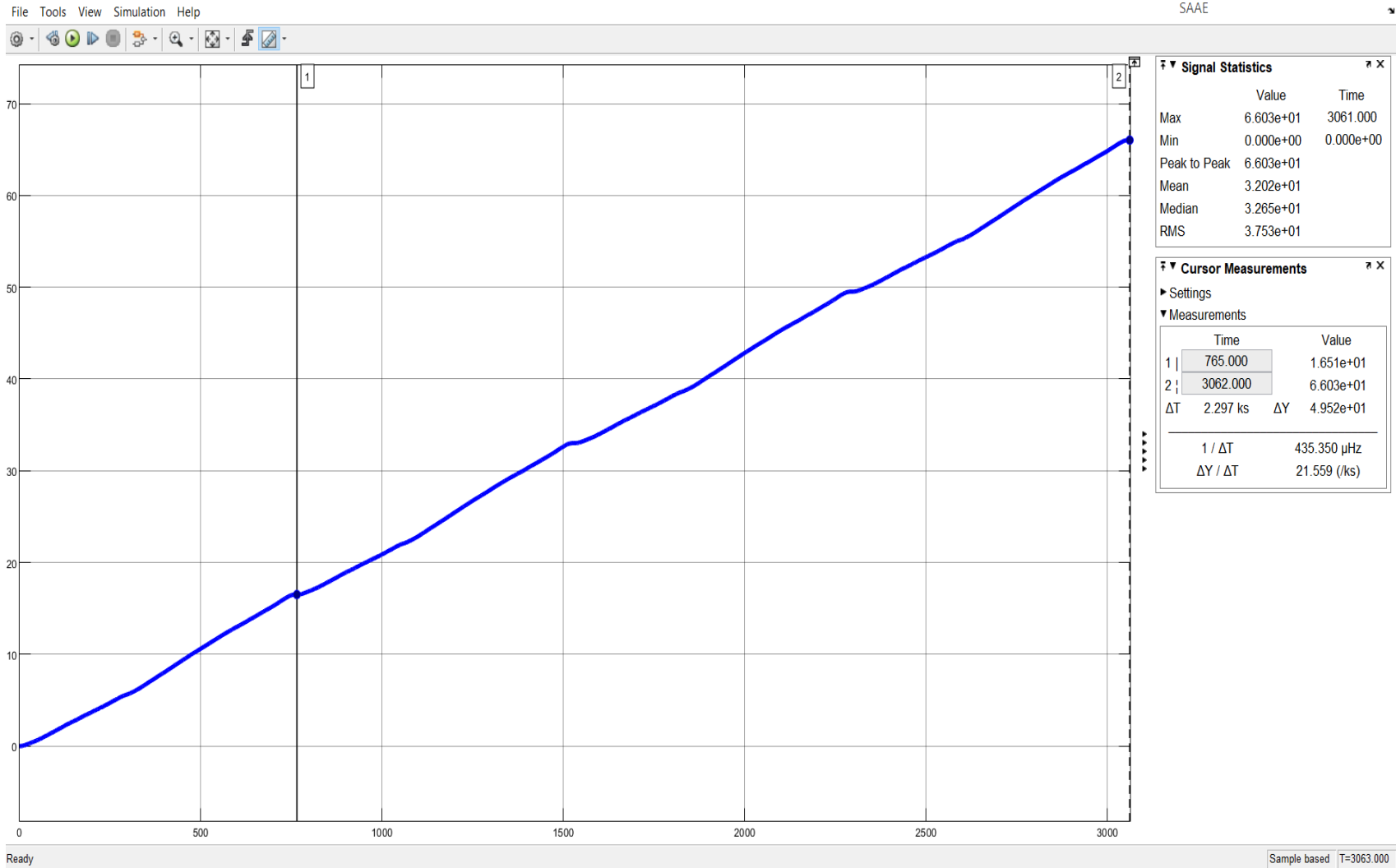




Distancia recorrida en Km

SAAE

## Distancia vs Tiempo.





### **Ruta 1**

- Distancia por vuelta: 1.2 km
- Numero de vueltas: 12
- Tiempo por vuelta: 50 s
- Autonomía del circuito: 14.4 km

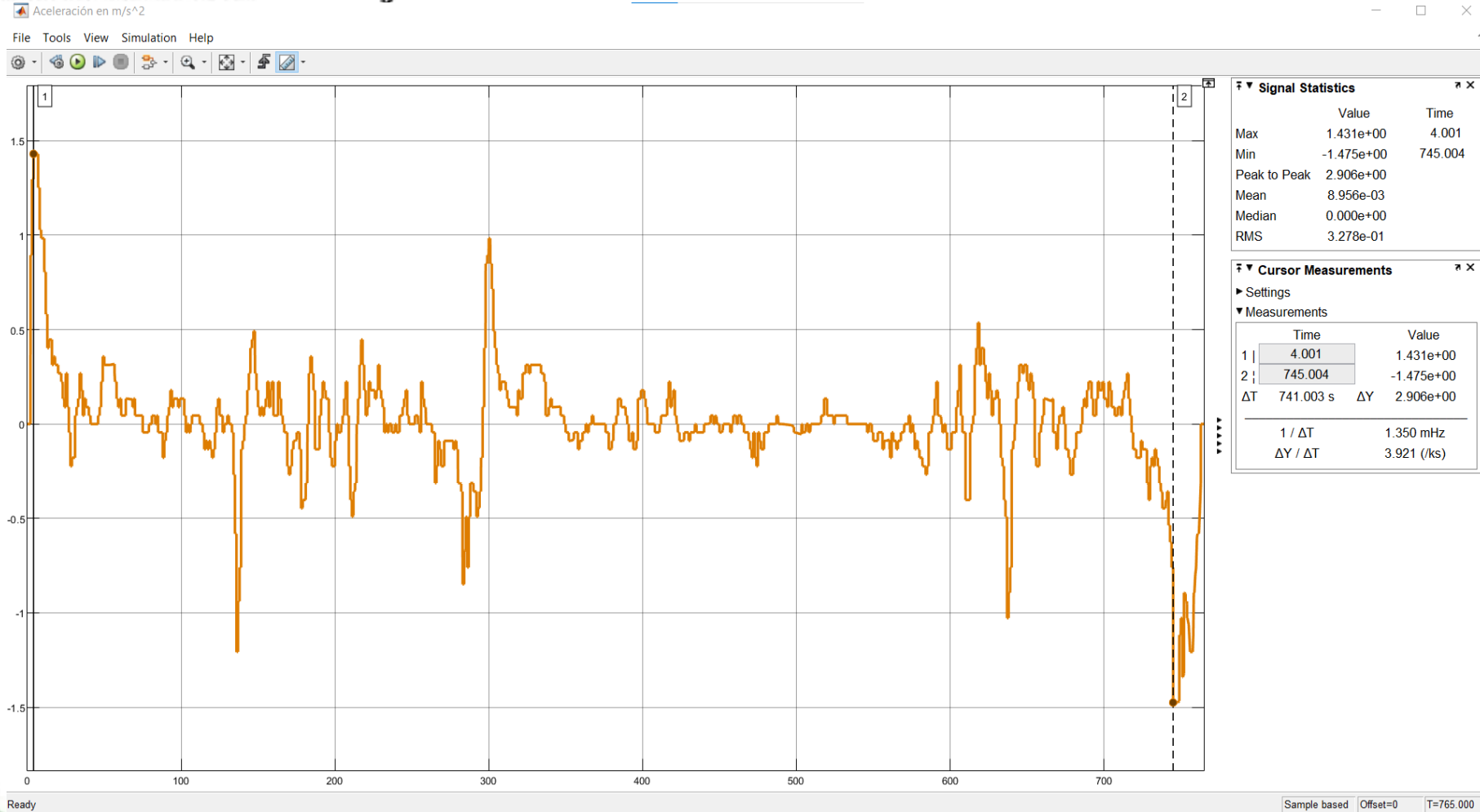
### **Ruta 2**

- Distancia por vuelta: 5.6 km
- Numero de vueltas: 12 a 15
- Tiempo por vuelta: 1 min 30 s
- Autonomía del circuito: 67.2 km





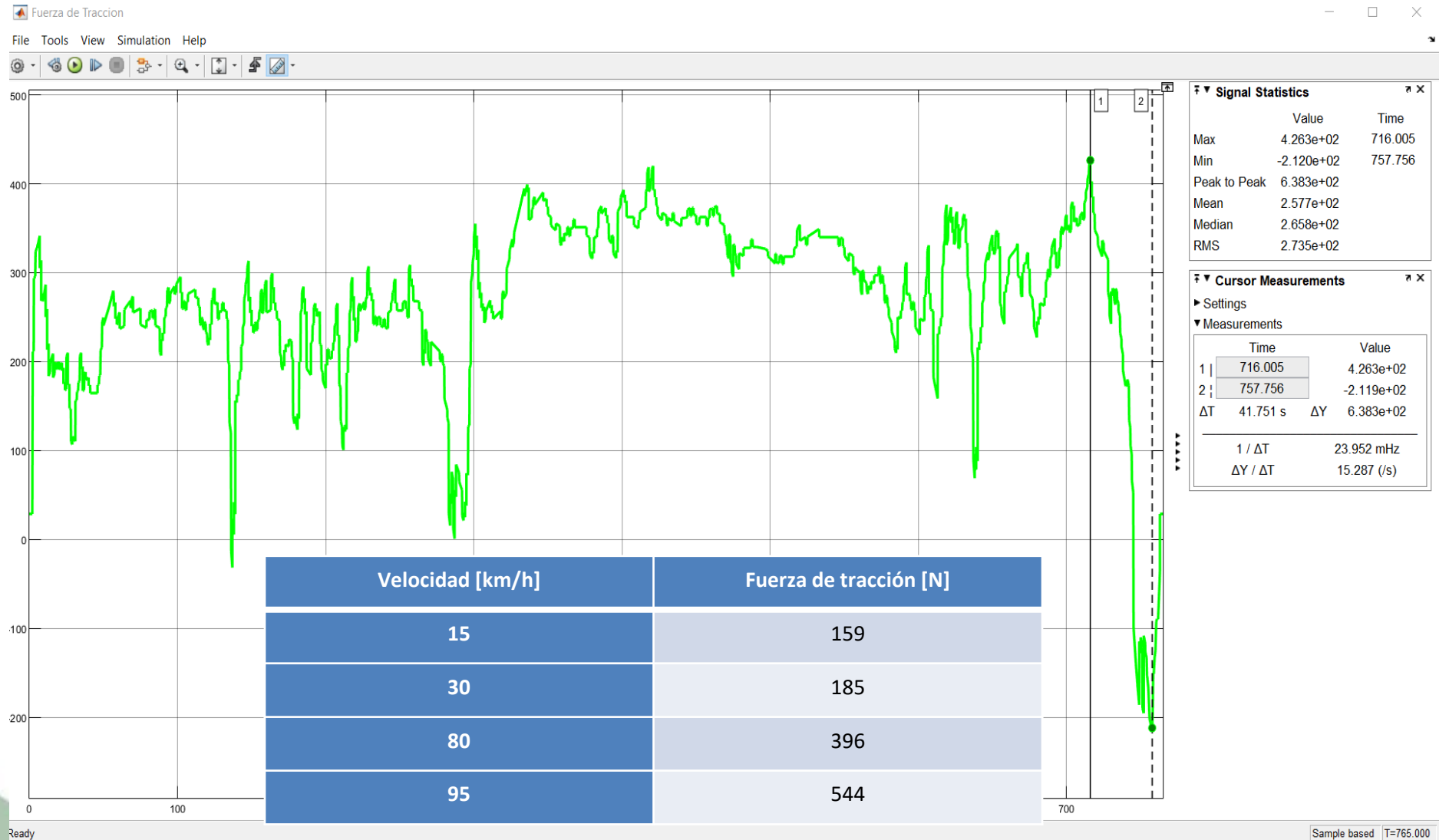
## Aceleración vs Tiempo



Ciclo de conducción	Aceleración Máxima $m/s^2$	Aceleración Mínima $m/s^2$	Desaceleración máxima $m/s^2$	Desaceleración mínima $m/s^2$
HWFET	1.43	0.0447	-1.47	-0.0447



## Fuerza de tracción vs tiempo



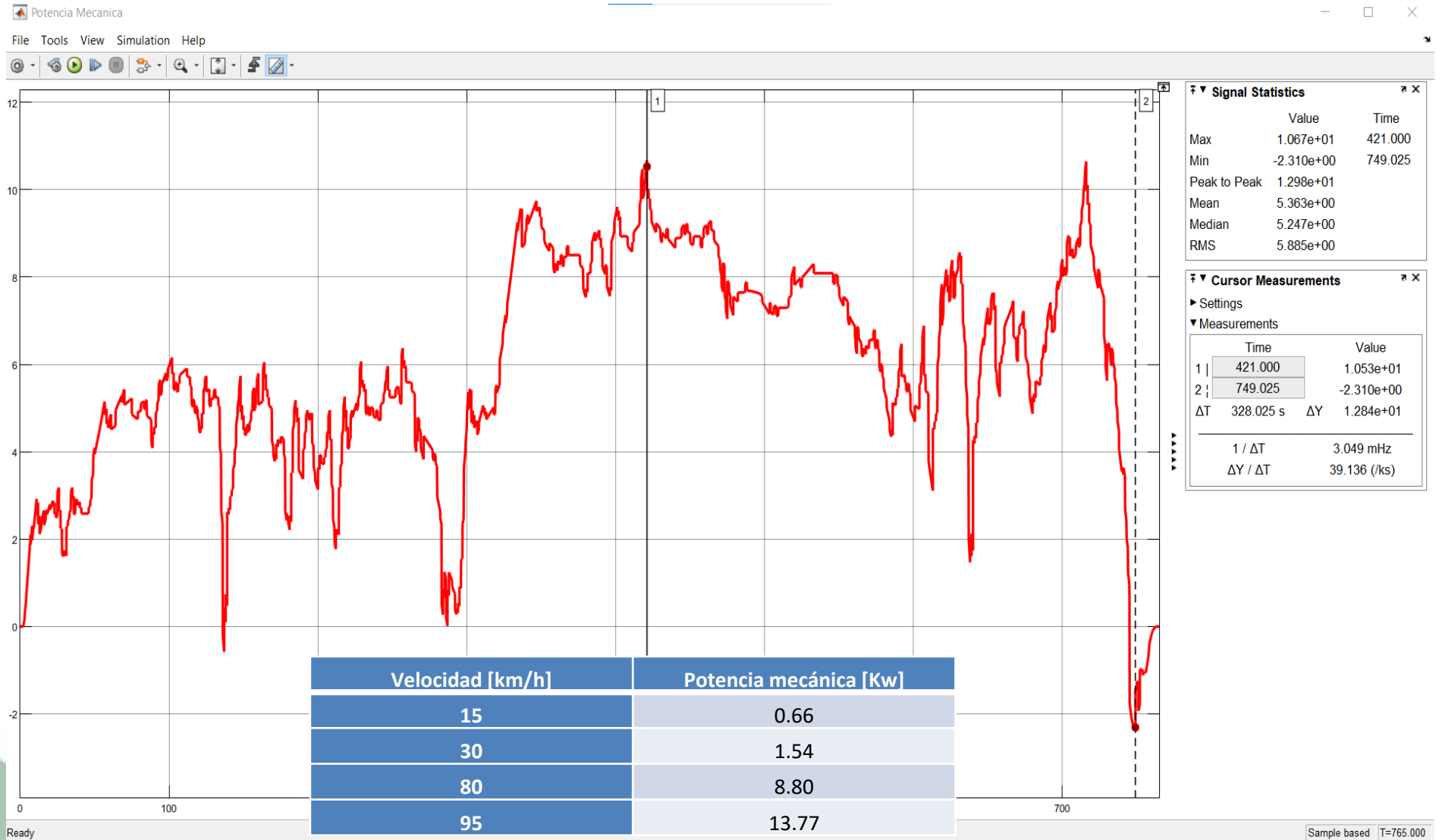
Velocidad [km/h]	Fuerza de tracción [N]
15	159
30	185
80	396
95	544

Ready

Sample based T=765.000

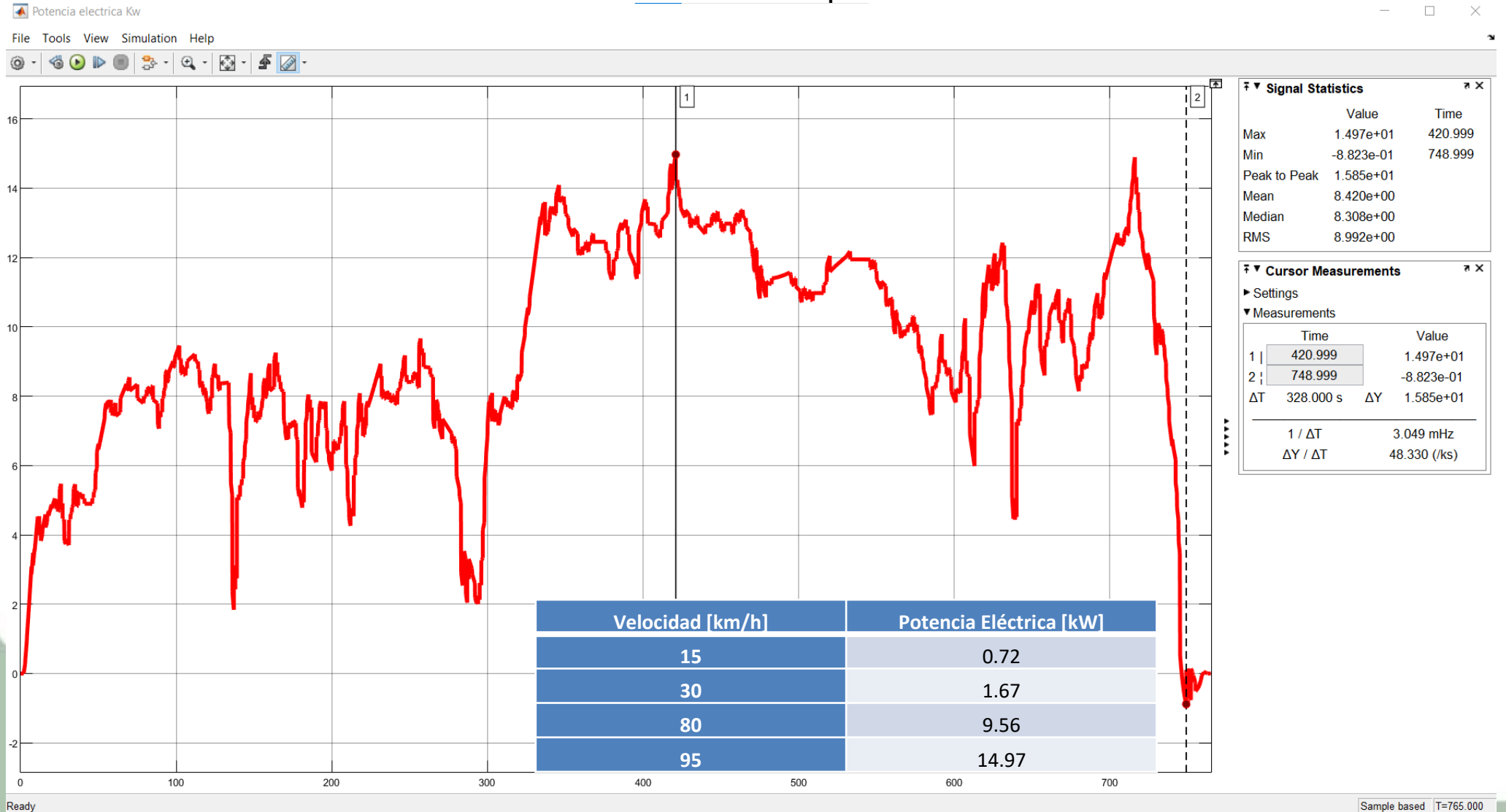


# . Potencia Mecánica vs Tiempo



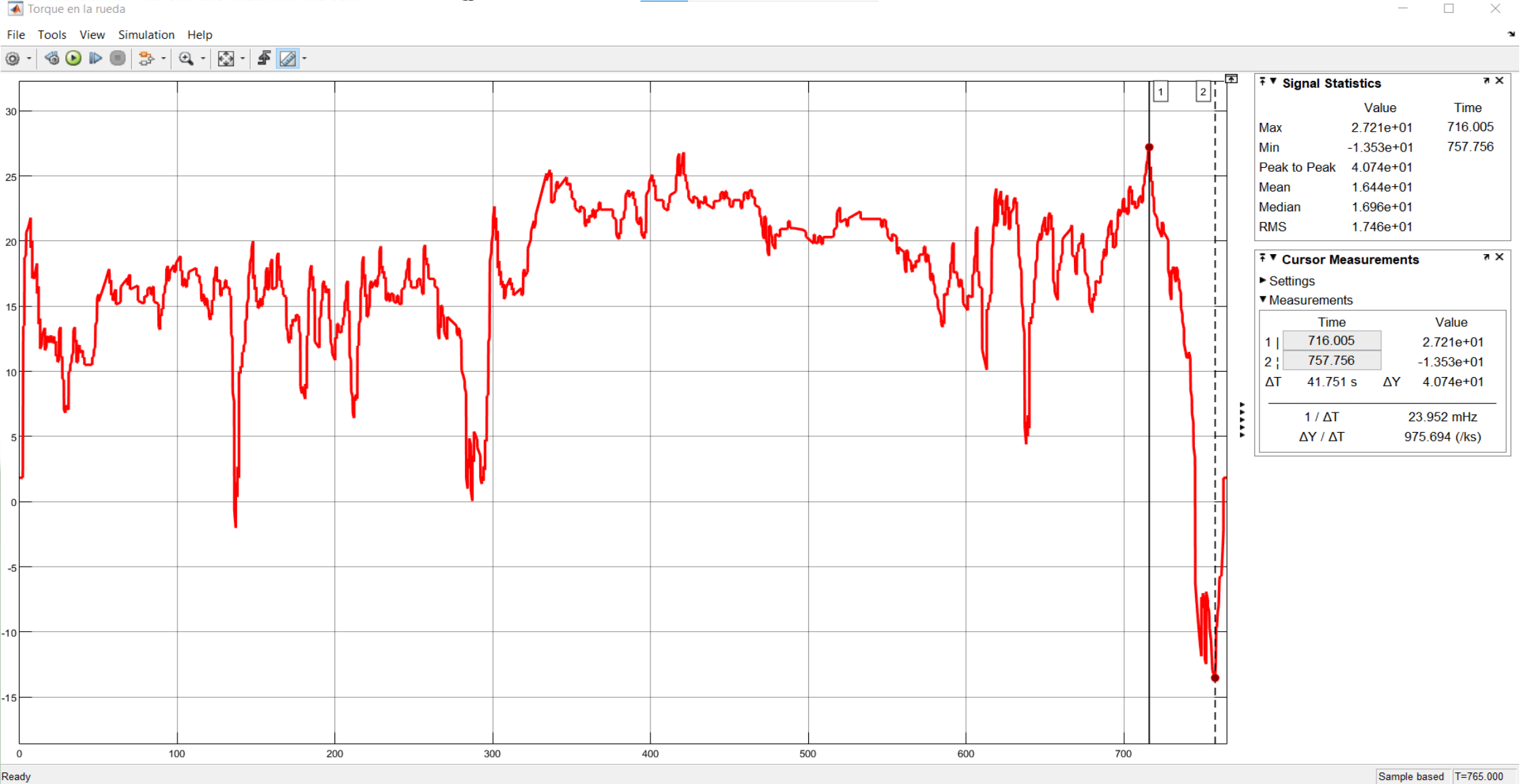


## Potencia Eléctrica vs Tiempo



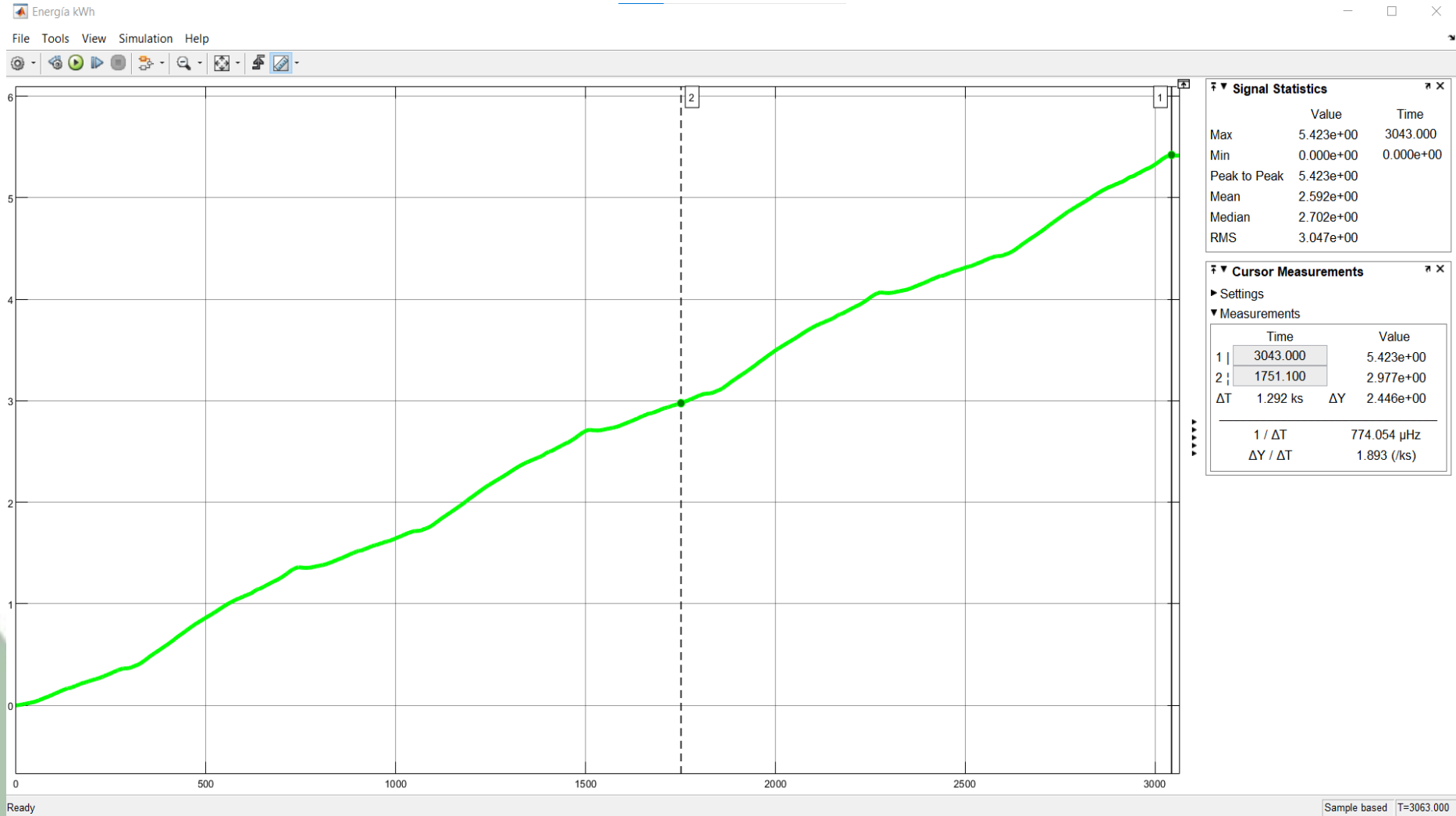


## Torque vs Tiempo.



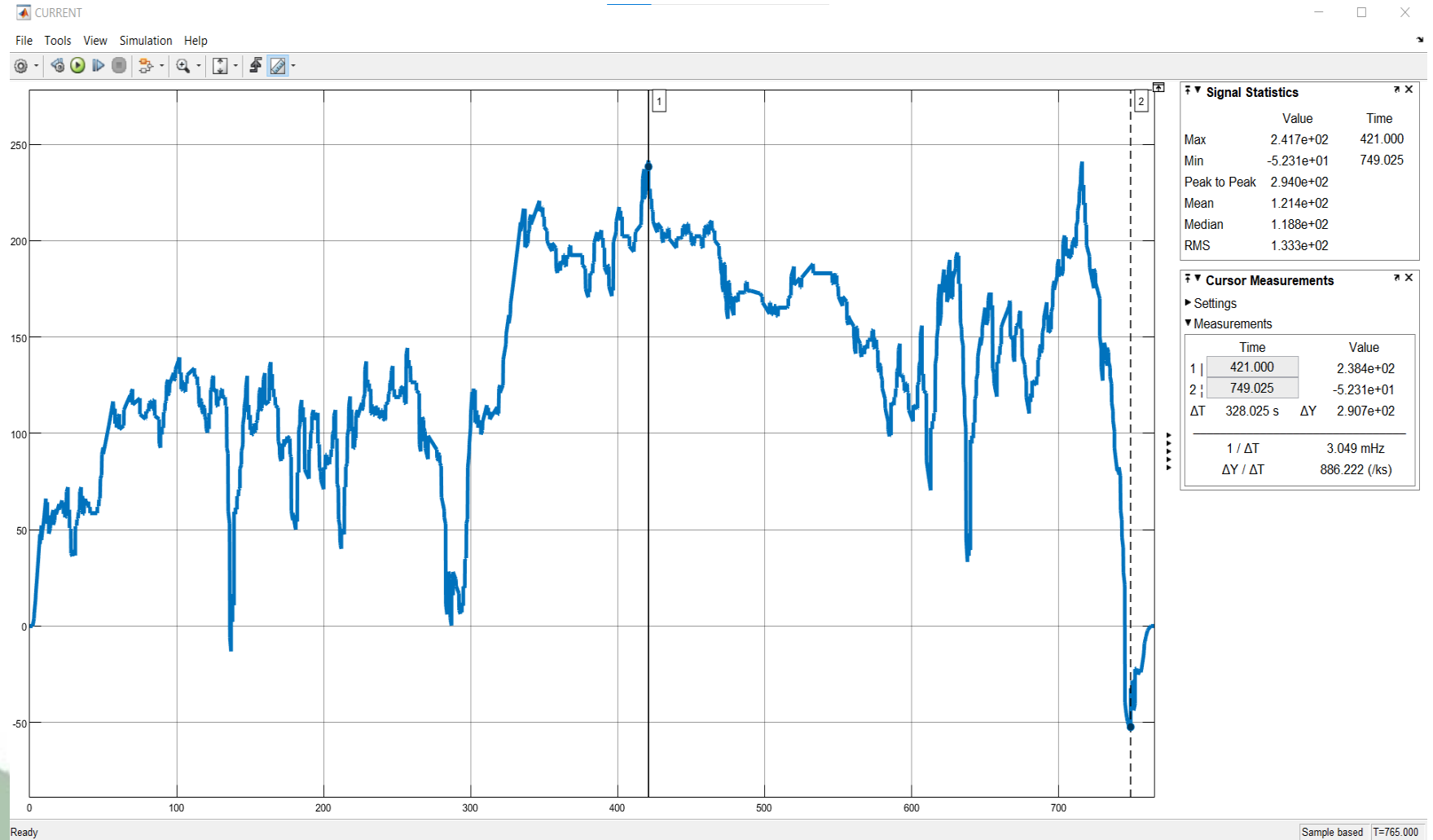


## Energía vs Tiempo





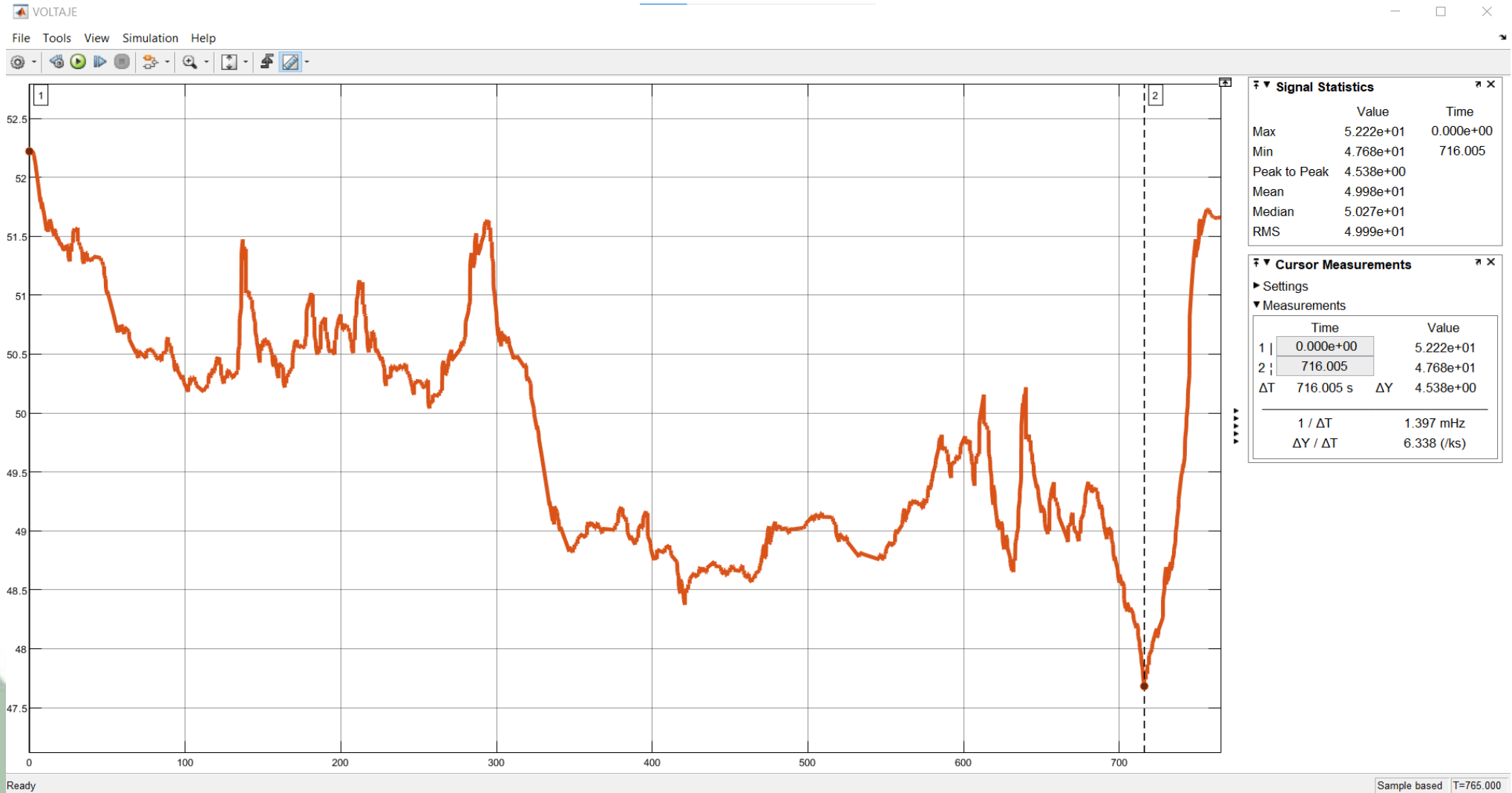
# Corriente vs Tiempo





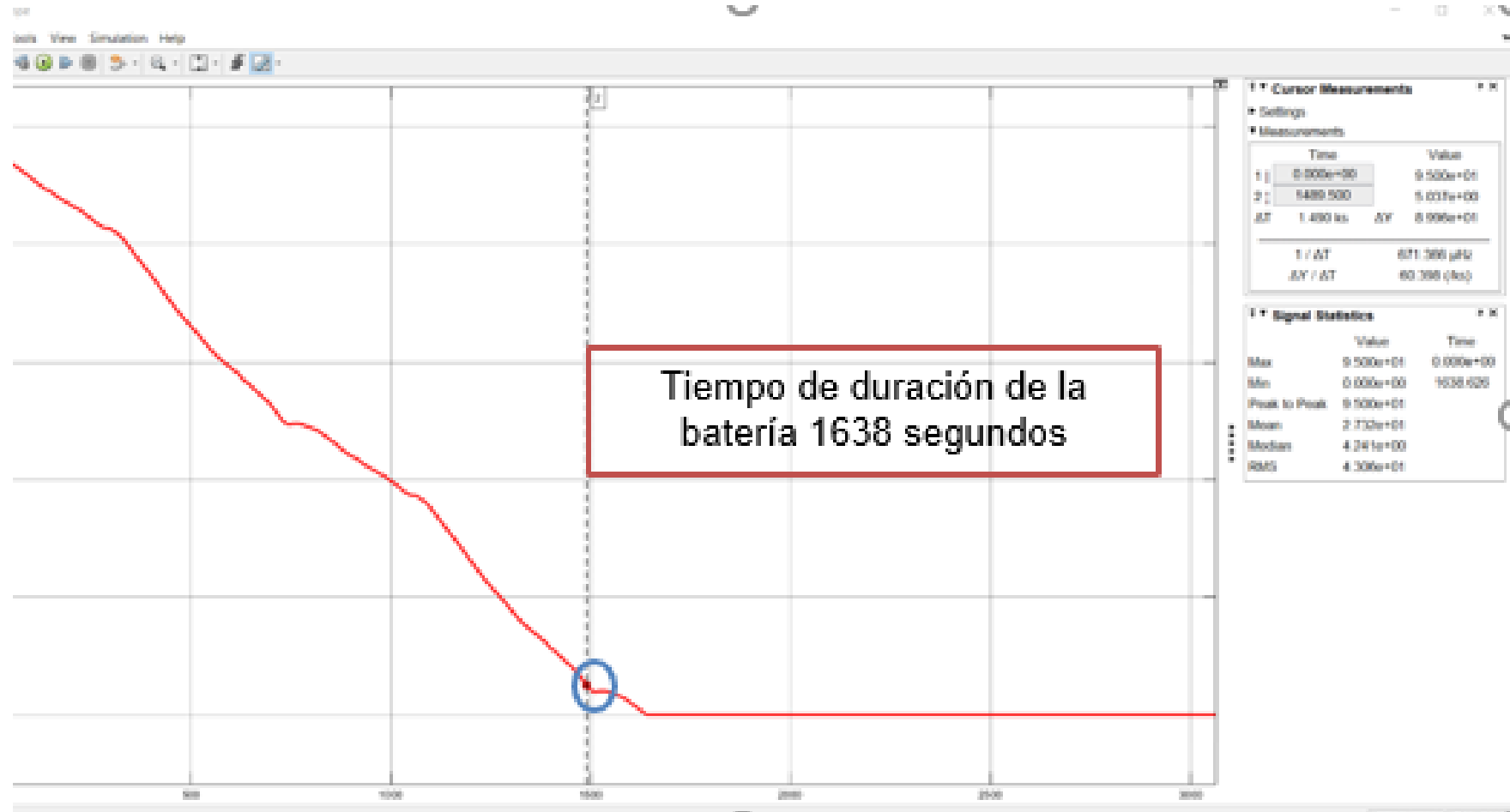


## Voltaje vs Tiempo.





## Carga vs Tiempo.







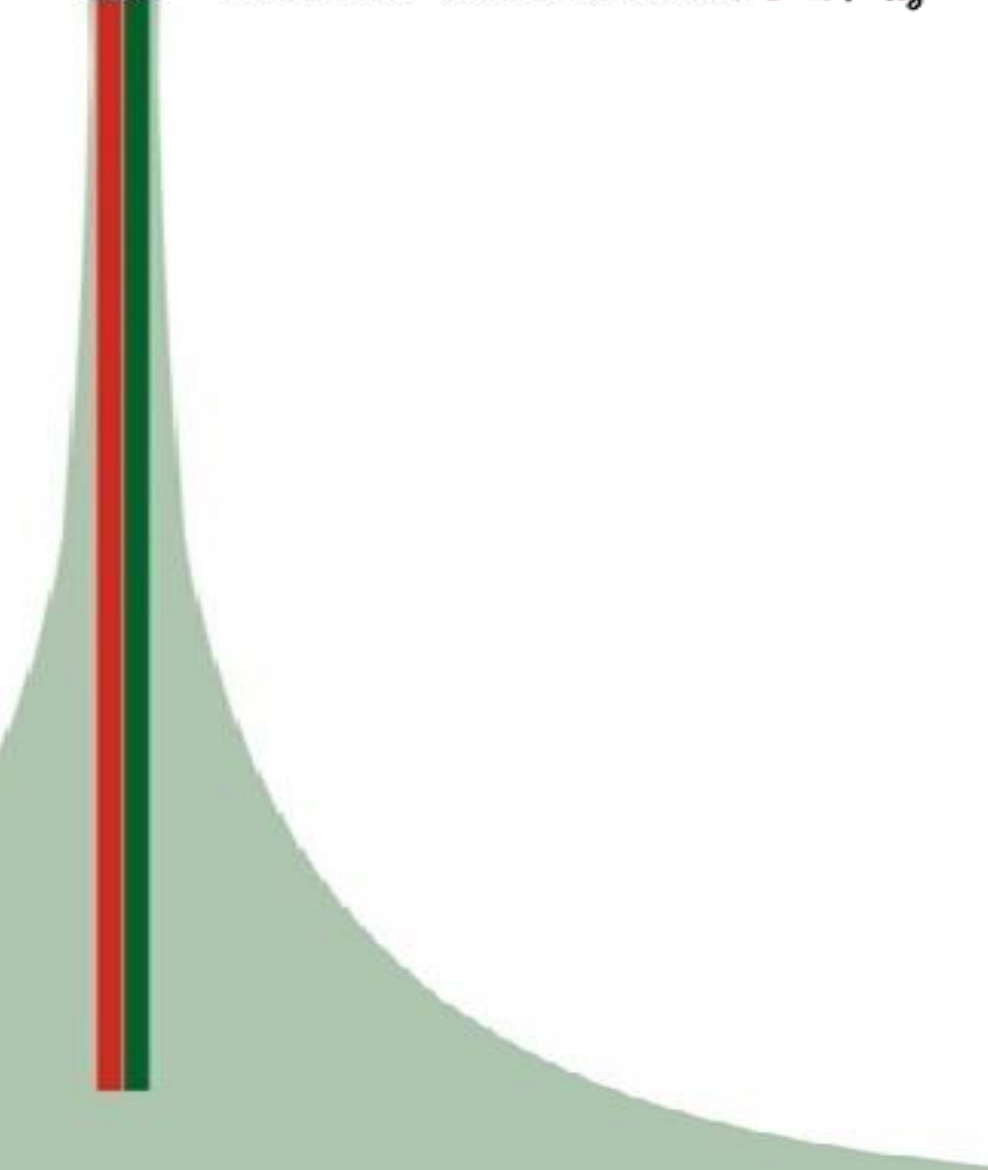
## Análisis económico de factibilidad de la construcción de un karting eléctrico.

- Según el análisis de resultados la potencia del motor recomendable a elegir es un motor con potencia mínima de 14.97 kW, por lo cual el kit seleccionado tiene una potencia de 15 kW en este caso funcionaria el motor eléctrico y por factores técnicos previos mencionados el kit cumple con las demandas del kartódromo de Latacunga para cumplir los circuitos mencionados como ruta 1 y ruta 2. El Factor económico influye en la selección o y características técnicas por lo cual se recomienda usar un kit de conversión de 15kW.
- Así mismo el material ASTM A-36 por sus propiedades y condiciones bajos los estándares de la FIA y CIK cumplen con las especificaciones para poder realizar el análisis en Solid Works software mediante el cual se obtuvo un factor de seguridad de 4,6 el cual es idóneo para implementar el chasis para un karting eléctrico



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



Opciones	Precio USD
<b>POWER UNIT 7 kW</b> -Motor eléctrico 7kW -Controlador -Batería 35Ah -Cargador	4352,52
<b>POWER UNIT 15 kW</b> -Motor eléctrico 15kW -Controlador -Batería Ah -Cargador	6643,32
<b>POWER UNIT 20 kW</b> -Motor eléctrico 20kW -Controlador -Batería 28Ah -Cargador	8934,12
<b>POWER UNIT 25 kW</b> -Motor eléctrico 25kW -Controlador -Batería 35Ah -Cargador	11224,92



## PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN.

Luego del análisis de resultados y mediante las especificaciones del reglamento de la CIK y FIA, se ha podido determinar que el material idóneo y óptimo para la fabricación del chasis es el acero ASTM A-36 con especificaciones generales de diámetro de 31,75 mm y un espesor de 2 mm, el mismo que esta dentro de lo establecido según las normas ISO 4948 e ISO 4949, que menciona una aleación no debe superar el 5%, adicionalmente el acero tiene que ser magnético, para pasar una prueba de contacto establecido en el reglamento de la FIA y CIK.



- Adicionalmente en esta investigación para este acero se obtiene un factor de seguridad de 4.6, un desplazamiento del material de 0.12 mm, el esfuerzo último a la tensión de 46,37 MPa lo que corrobora el material para la implementación del chasis ver anexo 1.
- Una vez expuesto sobre el material para la construcción del chasis o bastidor, se propone que el karting eléctrico use los siguientes componentes.





- La batería de alta tensión GBS de segunda generación de ion litio, cuya capacidad nominal es de 40 Ah y energía de 512 Wh establece que son suficientes para cumplir con los circuitos del Kartódromo de Latacunga en la tabla 34 se detalla las características específicas propias de esta batería

Marca	GBS de Segunda Generación Li-ion
Química	Litio-Hierro-Fosfato (LiFeMnPO4)
Forma	Prismática
Voltaje nominal (V)	12.8 V (4 celdas X 3.2 V)
Capacidad nominal	40Ah
Energía (Wh)	512
Peso	6.6 kg
Dimensiones (cm)	12.5 X 20.8 X 18.0
Corriente de carga máxima	3C
Corriente de descarga máxima	3C (de forma continua) / 10C (de forma momentánea)
Ciclo de vida	>2000
Temperatura de operación	-20 a 65°C



El motor PMAC brushless que tiene una potencia de 15 kW, un torque de 67 Nm el mismo alcanza una velocidad de 100 km/h brindando una eficiencia del 92%, este motor cumple con lo requerido ya que la potencia mínima para recorrer en un pendiente 0 es de 11 KW y para superar la pendiente de 6,4 % se necesita una potencia de 14,97 kW y un torque de 34,93 kW, en la tabla 35 se detalla las características específicas del motor a implementar

Modelo	PMAC brushless motor
Potencia continua (kW)	15
Torque (Nm)	67
Relación de transmisión	1.7
RPM máx.	3200
Velocidad máx. (Km/h)	100
Refrigeración	Por aire
Voltaje de operación (V)	48
Eficiencia (%)	92
Peso (Kg)	18.5



El Convertidor Green Galaxy con un voltaje de operación mínimo de 32 V. Así mismo el voltaje de salida es de 13.8 V, el mismo brinda una eficiencia mayor o igual a la 88 %, que permite cargar nuestra batería de alto voltaje en la tabla 36 se detalla a este convertidor.

Modelo	Green Galaxy
Voltaje de operación (V)	36-72
Eficiencia máxima (%)	≥88
Clasificación del empaquetamiento	IP 65
Temperatura de operación	20°C-+60°C
Salida de voltaje	13.8V±0.2V @0A, >12V @50 <sup>a</sup>
Corte automático de bajo voltaje (V)	30
Protección	IP66



- El controlador SEVCON es compatible con el motor PMAC brushless mencionado anteriormente, el mismo trabaja con un voltaje de operación mínimo de 38 V y una intensidad de corriente de 275 A, en la tabla 37 se detalla las características propias de este dispositivo.

Modelo	SEVCON
Compatible	Opera con motores PMAC
Voltaje de operación (V)	38-48
Voltaje máximo de operación (V)	69.6
Amperaje (A)	275
Capacidad de frenado regenerativo	SI
Interface CAN bus para comunicación y programación	SI
Electrónica y programación a prueba de fallas en la operación	SI
Protección	IP66
Fusible integrado	SI



El cargador performance BSR 2.0 15kW, posee un conector para corriente continua como para corriente alterna, el tiempo de carga depende del punto de abastecimiento de corriente y su potencia de carga. En la tabla 38 se detalla características de este cargador

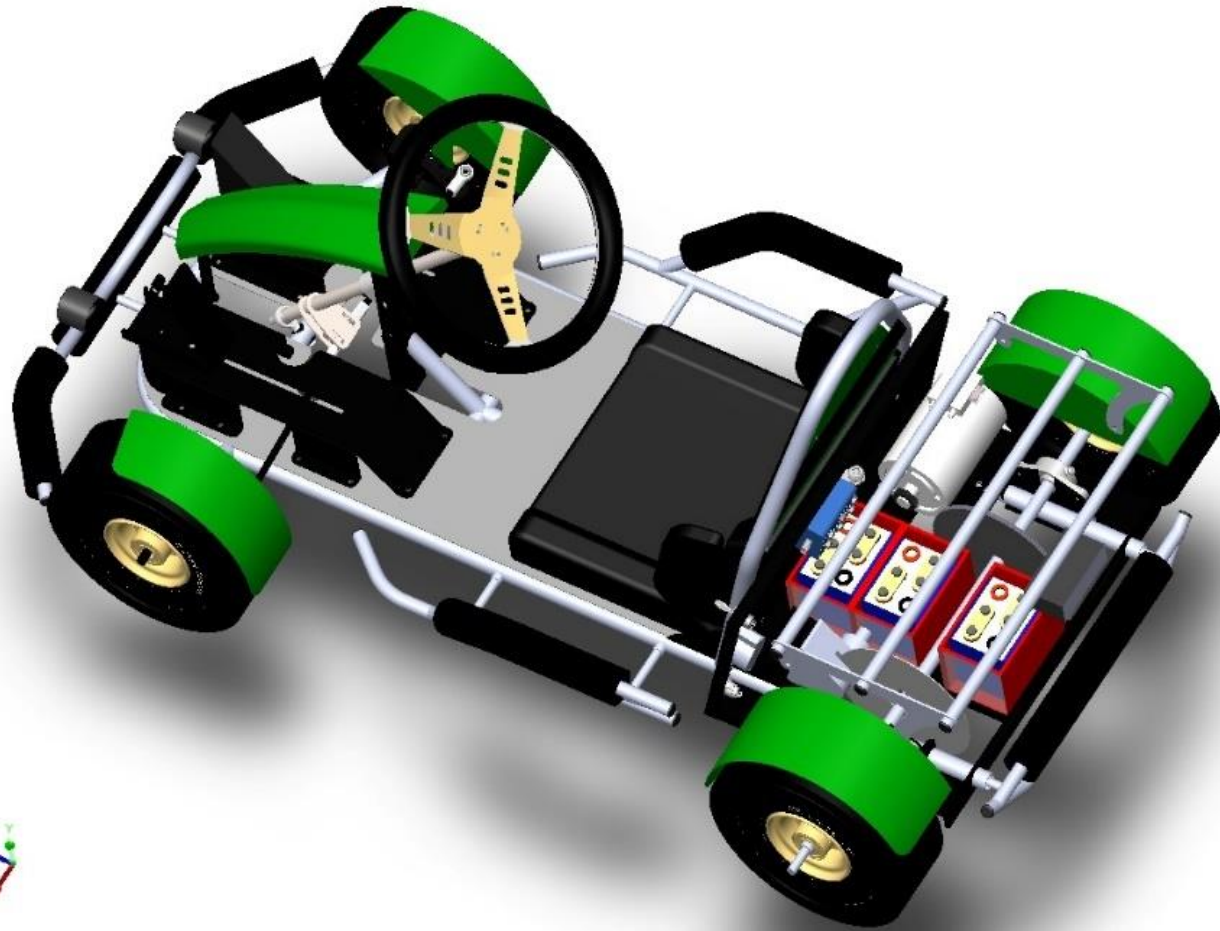
Modelo	Performance BSR 2.0 15kW
Conector	AC o DC/DC
Voltaje de Carga (V)	48
Corriente de carga (A)	30
Refrigeración	Por aire
Peso (Kg)	5.5



- El costo total para implementar el proyecto de investigación realizado tiene un valor USD 8000, en donde intervienen los componentes eléctricos como el motor PMAC Brushless, el convertidor Green Galaxy, controlador SEVCON, cargador Performance BSR 2.0 15kW, la batería de alta tensión GBS de Segunda Generación Li-ion y la construcción del bastidor tubular, en el Acero ASTM A-36 con una estructura tubular circular de diámetro de 31,75 mm y un espesor de 2 mm.
- Todo lo antes mencionado cumple con los requerimientos necesarios para los circuitos de la pista del kartódromo de Latacunga.



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA E







## CONCLUSIONES

- Se investigaron en fuentes confiables los parámetros de entrada de gran importancia como lo fueron: la eficiencia de la relación de transmisión de acuerdo al eje motriz, el coeficiente aerodinámico para la fuerza de arrastre, el coeficiente de rodadura para la fuerza de fricción, el radio dinámico para obtener el torque requerido en la rueda, que en conjunto todos estos parámetros ingresados en la simulación en el software computacional que nos permitió definir al motor y a las baterías de alta tensión adecuadas.
- Se concluye que el material adecuado para la implementación del chasis o bastidor es el acero ASTM A-36, el mismo que tiene las características de ser un acero magnético, requisito obligatorio dentro del reglamento de la FIA y CIK, por lo cual tiene que pasar una prueba conocida como fuerza de contacto.



- Se realizó un cuadro comparativo de los kartings eléctricos existentes en el mercado en donde se pudo visualizar que la potencia del motor eléctrico para el uso de estos vehículos oscila de los 10 kw a los 17 kw con las siguientes características de la batería de alta tensión: 48 V y 52 Ah.
- Se diseñó y se modeló un chasis para karting eléctrico donde se obtuvo un valor de 3.2 como factor de seguridad entonces este chasis es viable para la implementación.
- Se obtuvieron y se calcularon los parámetros necesarios para la ciudad de Latacunga de los cuales el de más relevancia corresponde a la densidad del aire que tiene un valor de 1.28 kg/m<sup>3</sup> que influye en la fuerza de arrastre aerodinámico, así como se obtuvo el valor de la pendiente máxima del kartódromo de Latacunga. Que influyo para poder obtener la potencia mínima requerida y superar dicha pendiente de 6.4 %.



- Se diseñó el tren de propulsión para un karting eléctrico mediante uso del software de ingeniería determinando que se debe seleccionar un motor eléctrico de potencia mínima de 14,97 kW y una batería de al menos 5.52 kWh como capacidad de energía para poder cumplir el circuito que tiene como recorrido una distancia de 67.2 km.
- Se seleccionó el kit de conversión Unit 2.0 15 kW porque cumple con las especificaciones técnicas correspondiente al motor y por su consideración en el precio



## RECOMENDACIONES

- Se recomienda adquirir otro pack de batería con las características de 48V y 62 Ah y adecuarlo en el chasis para poder cumplir el circuito de 67.02 km
- Se recomienda adquirir un BMS (Battery management system) de buenas prestaciones para que pueda discretar la corriente de la batería de buena manera.
- Se recomienda adquirir un cargador de mayor potencia eléctrica para cargar en menos tiempo las baterías de alta tensión
- Se recomienda utilizar los datos de manera actualizada en lo referente a la reglamentación por parte de la CIK –FIA que es el ente regulador a nivel mundial para competencias de karting y actualmente son reguladores de e-karting.



- Para lo concerniente al modelado y simulación a través del software CAD SolidWorks Premiun Student tener experiencia en su manejo, así como aplicar el criterio correcto que permita alcanzar en menor tiempo y de manera correcta el objetivo del estudio.
- De manera técnica se recomienda contar con un equipo computacional idóneo en cuanto a características de procesamiento y tarjeta de video adecuada que permita realizar este tipo de estudio para no tener dificultades al momento de simular la estructura en SolidWorks Premiun Student así mismo para el software computacional MATLAB -Simulink versión de prueba en línea.





GRACIAS

