

Robótica

Trabajo Práctico Nº 2: Análisis dinámico de un Robot e implementación en FPGA

Alumnos: Fuster, Alan Ezequiel
Hampel, Matías Rolf
Martinez, Matías Javier

Profesor: Ing. Giannetta, Hernán

Jefe de TP: Ing. Granzella, Eduardo Damián

Curso: R6055

Horario: Lunes 19:00 a 23:00

Año: 2012

Cálculo del modelo dinámico del robot:

Para obtener el modelo dinámico de nuestro robot utilizaremos la herramienta para matlab Hemero, mediante una serie de funciones este toolbox logra entregarnos las expresiones de los torques que se le deben aplicar a cada articulación para ir a la posición deseada. Para lograr esto, la herramienta necesita que se le ingrese la matriz de parámetros DyN, para hallar los parámetros de dicha matriz realizamos el modelo del robot en el programa Solid Edge ST2.

La matriz DyN que debemos completar es la siguiente:

$\alpha \ a \ \theta \ d \ \sigma \ masa \ r_x \ r_y \ r_z \ l_{xx} \ l_{yy} \ l_{zz} \ l_{xy} \ l_{yz} \ l_{xz} \ J_m \ G \ B \ T_c + T_c -$

Estas 20 columnas deben ser completadas para cada una de las tres articulaciones, lo que resulta en una matriz de 3x20.

Las primeras cuatro columnas son los parámetros de Denavit-Hatemberg, los cuales fueron calculados en el tp 1:

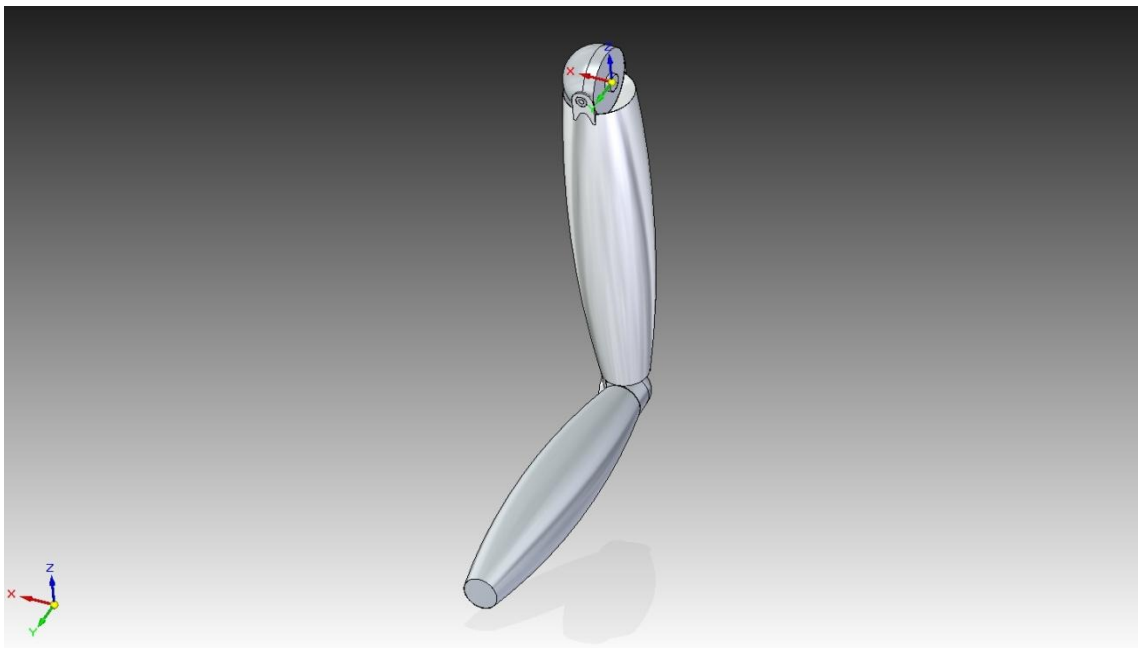
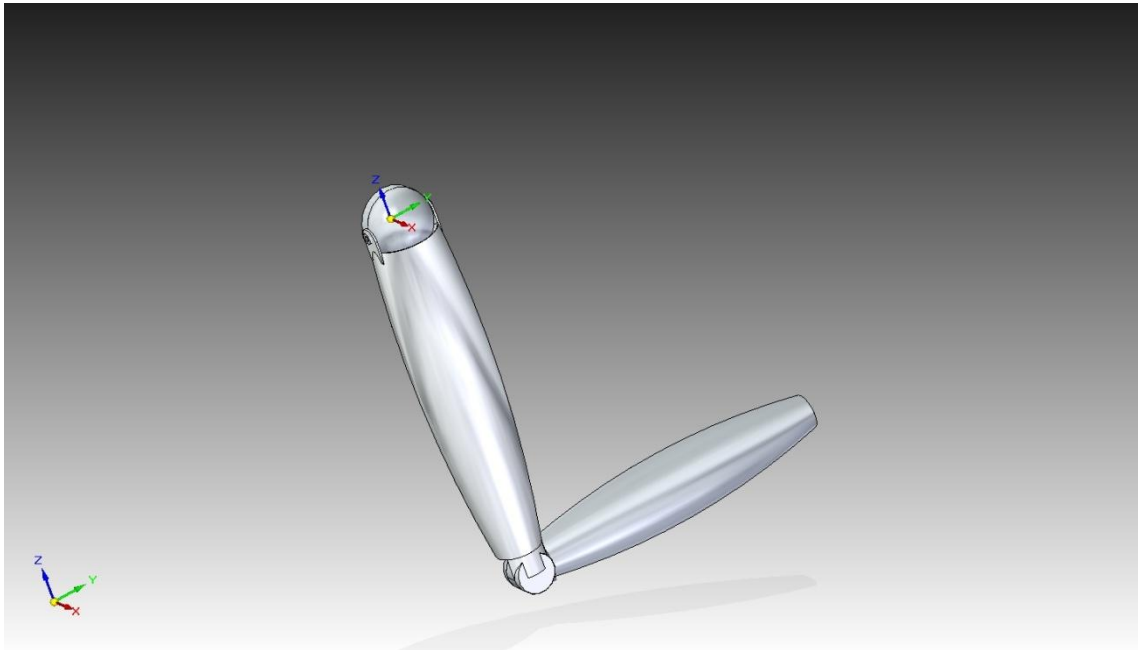
	α	a	θ	d
Inter-Hombro 1	90°	0	q1	L1
Inter-Hombro 2	-90°	L2	q2	0
Codo	0°	L3	q3	0

El parámetro σ será cero para las tres articulaciones dado que todos los movimientos serán de rotación y ninguno de traslación.

Cálculo de los parámetros mecánicos del robot:

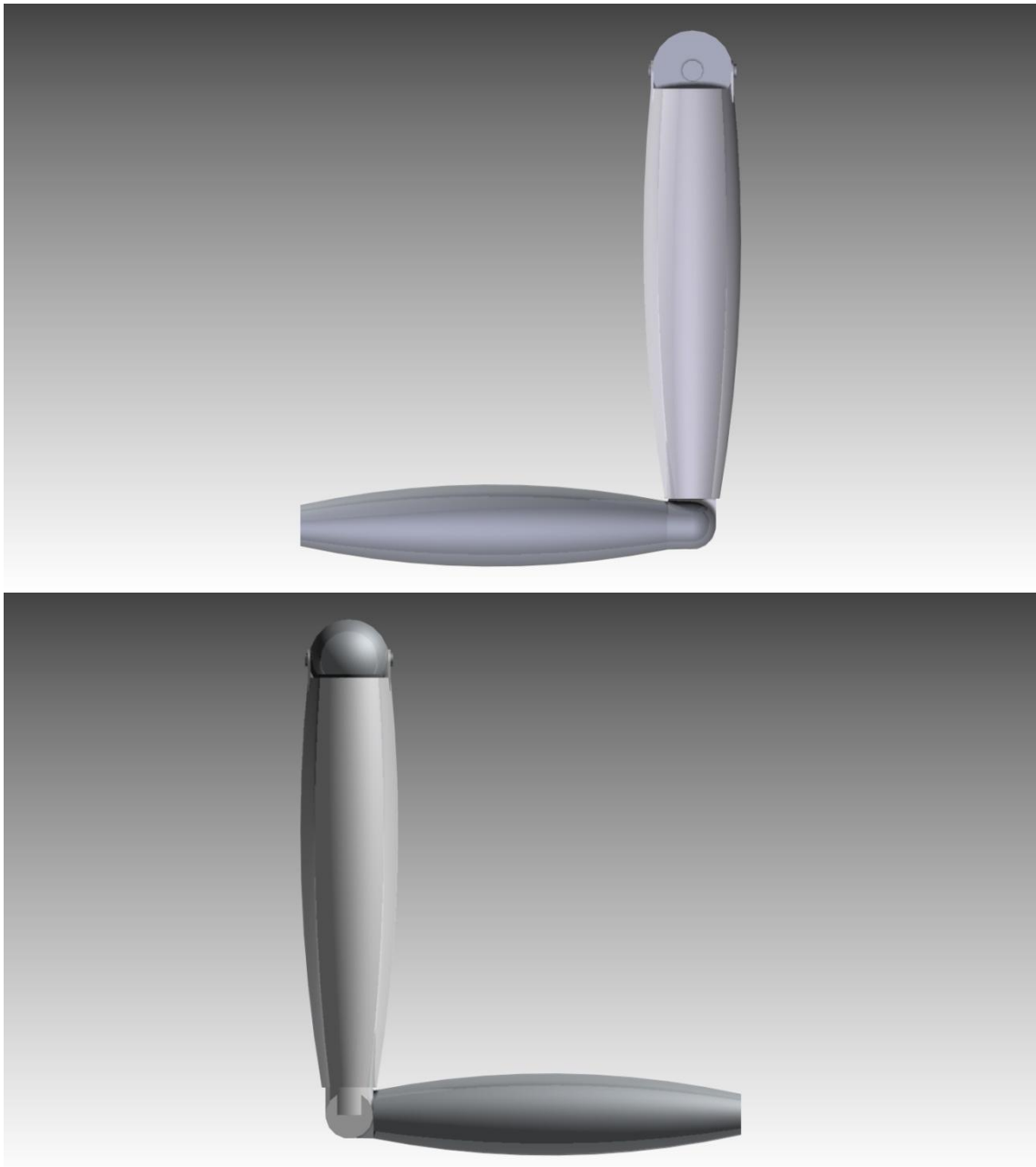
Como dijimos anteriormente, la herramienta que utilizamos es el CAD Solid Edge ST2.

Para obtener dichos parámetros se procede a realizar las partes sólidas:



En estas dos imágenes se puede ver claramente dónde se encuentra nuestra referencia, ese será el inicio de nuestro sistema de ejes.

El modelo ya terminado es el siguiente:



Luego de realizar el diseño de las partes sólidas, se procede a especificar los materiales para poder así obtener los parámetros mecánicos buscados.

En nuestro caso el brazo será confeccionado en aluminio, obteniendo los siguientes resultados:

- Primera articulación:

Physical Properties Report

volume= 80769,557 mm³

mass= 0,219 kg

With respect to the Global Coordinate System.

Center of Mass:

X= -0,17 mm

Y= -0,44 mm

Z= 20,52 mm

Center of Volume:

X= -0,17 mm

Y= -0,44 mm

Z= 20,52 mm

Mass Moments of Inertia:

I_{xx}= 0,00 kg-m²

I_{yy}= 0,00 kg-m²

I_{zz}= 0,00 kg-m²

I_{xy}= 0,00 kg-m²

I_{xz}= 0,00 kg-m²

I_{yz}= 0,00 kg-m²

Principal Axes Orientation:

$$1 = 0,000 \quad 0,000 \quad 1,000$$

$$2 = 0,000 \quad 1,000 \quad 0,000$$

$$3 = -1,000 \quad 0,000 \quad 0,000$$

With respect to the Principal Axes

Principal Moments of Inertia:

$$I_1 = 0,00 \text{ kg-m}^2$$

$$I_2 = 0,00 \text{ kg-m}^2$$

$$I_3 = 0,00 \text{ kg-m}^2$$

Radii of Gyration:

$$K_1 = 19,25 \text{ mm}$$

$$K_2 = 16,83 \text{ mm}$$

$$K_3 = 16,72 \text{ mm}$$

- Segunda articulación:

Physical Properties for Selected Parts

$$\text{volume} = 727325,572 \text{ mm}^3$$

$$\text{mass} = 1,973 \text{ kg}$$

With respect to the Global Coordinate System

Center of Mass:

$$X = -0,18 \text{ mm}$$

$$Y = -133,76 \text{ mm}$$

$$Z = 0,00 \text{ mm}$$

Center of Volume:

$$X = -0,18 \text{ mm}$$

$$Y = -133,76 \text{ mm}$$

$$Z = 0,00 \text{ mm}$$

Mass Moments of Inertia:

$$I_{xx} = 0,05 \text{ kg-m}^2$$

$$I_{yy} = 0,00 \text{ kg-m}^2$$

$$I_{zz} = 0,05 \text{ kg-m}^2$$

$$I_{xy} = 0,00 \text{ kg-m}^2$$

$$I_{xz} = 0,00 \text{ kg-m}^2$$

$$I_{yz} = 0,00 \text{ kg-m}^2$$

Principal Axes Orientation:

$$X = 1,000 \quad -0,008 \quad 0,000$$

$$Y = 0,000 \quad 0,000 \quad 1,000$$

$$Z = -0,008 \quad -1,000 \quad 0,000$$

With respect to the Principal Axes

Principal Moments of Inertia:

$$I_1 = 0,01 \text{ kg-m}^2$$

$$I_2 = 0,01 \text{ kg-m}^2$$

$$I_3 = 0,00 \text{ kg-m}^2$$

Radii of Gyration:

$$R_x = 77,42 \text{ mm}$$

$$R_y = 77,41 \text{ mm}$$

$$R_z = 25,03 \text{ mm}$$

- Tercera articulación:

Physical Properties Report

volume= 585811,445 mm³

mass= 1,589 kg

With respect to the Global Coordinate System.

Center of Mass:

X= 140,52 mm

Y= -1,78 mm

Z= -10,46 mm

Center of Volume:

X= 140,52 mm

Y= -1,78 mm

Z= -10,46 mm

Mass Moments of Inertia:

I_{xx}= 0,00 kg-m²

I_{yy}= 0,04 kg-m²

I_{zz}= 0,04 kg-m²

I_{xy}= 0,00 kg-m²

I_{xz}= 0,00 kg-m²

I_{yz}= 0,00 kg-m²

Principal Axes Orientation:

1= -0,013 0,008 1,000

2= 0,013 1,000 -0,008

3= -1,000 0,013 -0,013

With respect to the Principal Axes

Principal Moments of Inertia:

$$I_1 = 0,01 \text{ kg-m}^2$$

$$I_2 = 0,01 \text{ kg-m}^2$$

$$I_3 = 0,00 \text{ kg-m}^2$$

Radii of Gyration:

$$K_1 = 72,74 \text{ mm}$$

$$K_2 = 72,73 \text{ mm}$$

$$K_3 = 18,76 \text{ mm}$$

Ahora sí podemos confeccionar la matriz DyN , la cual se verá completa en el siguiente paso.

Obtención de torques del robot:

Se busca, mediante el enfoque dinámico de Lagrange-Euler, obtener los torques a aplicar a cada uno de los motores brushless del robot para lograr un movimiento determinado, por lo que los torques obtenidos quedarán en función de la posición, la velocidad y la aceleración. Para esto utilizaremos el toolbox de Hemero para Matlab, el script implementado es el siguiente:

MATLAB 7.6.0 (R2008a)

File Edit Text Go Cell Tools Debug Parallel Desktop Window Help

C:\Users\Martinez\Dropbox\Robótica\Tps\TP cinematica

Shortcuts How to Add What's New

Command Window Editor - Cinematica.m*

Stack: Base

```

1 - clc;
2 - clear all;
3
4 - syms g real; % Aceleración de la gravedad
5
6 - syms q1 real; % Hombro 1 Rotacion z1(360°), q1 positivo va para adelante
7 - syms q2 real; % Hombro 2 Rotacion z2(180°), q2 positivo levanta el brazo
8 - syms q3 real; % Codo Rotacion z3 (de 0° a menos de 180°), q3 positivo levanta el antebrazo
9
10 - syms w1 real; % Velocidad angular 1
11 - syms w2 real; % Velocidad angular 2
12 - syms w3 real; % Velocidad angular 3
13
14 - syms aw1 real; % Aceleración angular 1
15 - syms aw2 real; % Aceleración angular 2
16 - syms aw3 real; % Aceleración angular 3
17
18 - l1=0.01; % Interhombro
19 - l2=0.31; % Brazo (Húmero)
20 - l3=0.285; % Antebrazo (Cubito y Radio)
21
22
23 % Matriz DyN:
24 % Alfa a Tita d
25 - DH = [ 90 0 q1 l1; ...
26         -90 l2 q2 0; ...
27         0 l3 q3 0];
28
29 % Sigma masa rx ry rz Ixx Iyy Izz Ixy Iyz Izx Jm G B Tc+ Tc-
30 - D = [ 0 0.219 -0.00017 -0.00044 0.2052 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0; ...
31         0 1.973 -0.00018 -0.13376 0 0.05 0 0.05 0 0 0 0 0 1 0 0; ...
32         0 1.589 0.14052 -0.00178 -0.01046 0 0.04 0.04 0 0 0 0 0 1 0 0];
33
34 - DyN = [DH D];
35
36 - q = [q1 q2 q3]; % Vector de articulaciones
37 - w = [w1 w2 w3]; % Vector de velocidades
38 - aw = [aw1 aw2 aw3]; % Vector de aceleraciones
39 - G = [0 -g 0];
40 - Torque = rne (DyN, q, w, aw, G);
41 - T1 = simple (Torque(1,1))
42 - T2 = simple (Torque(1,2))
43 - T3 = simple (Torque(1,3))
44

```

Script_6d.m Filter1.m Script_TestF1.m Script_DotProFP.m Func_MyConv_DSP.m Cinematica.m*

Start Ready script Ln 11 Col 36 OVR

Arrojando los siguientes resultados:

T1 =

$$\begin{aligned} & (4991586901103*aw1)/10000000000000 - \\ & (556191381*aw1*\sin(2*q2))/1250000000000 - \\ & (496811973*aw1*\sin(2*q3))/1250000000000 + \\ & (556191381*w1*w2)/625000000000 + (496811973*w1*w3)/625000000000 \\ & + (701390283*aw1*\cos(q2))/2500000000 + \\ & (12783067*aw1*\sin(q2))/78125000 - \\ & (34506203547*aw1*\cos(q2)^2)/1250000000000 - \\ & (35685576739*aw1*\cos(q3)^2)/500000000000 - \\ & (47369679*aw2*\sin(q2))/10000000000 + \\ & (12783067*w1*w2*\cos(q2))/78125000 - \\ & (8060997*w1*w2*\cos(q3))/5000000000 + \\ & (35685576739*aw1*\cos(q2)^2*\cos(q3)^2)/250000000000 - \\ & (701390283*w1*w2*\sin(q2))/2500000000 + \\ & (318182949*w1*w2*\sin(q3))/2500000000 + \\ & (173046867*aw1*\cos(q2)*\cos(q3))/1250000000 + \\ & (4384051*aw1*\cos(q2)*\sin(q3))/2500000000 + \\ & (4384051*aw1*\cos(q3)*\sin(q2))/2500000000 - \\ & (47369679*w2^2*\cos(q2))/10000000000 - \\ & (556191381*w1*w2*\cos(q2)^2)/312500000000 - \\ & (496811973*w1*w2*\cos(q3)^2)/312500000000 - \\ & (496811973*w1*w3*\cos(q2)^2)/312500000000 - \\ & (496811973*w1*w3*\cos(q3)^2)/312500000000 - \\ & (173046867*aw1*\sin(q2)*\sin(q3))/1250000000 + \\ & (34506203547*w1*w2*\sin(2*q2))/1250000000000 + \\ & (35685576739*w1*w2*\sin(2*q3))/500000000000 + \\ & (35685576739*w1*w3*\sin(2*q2))/500000000000 + \\ & (35685576739*w1*w3*\sin(2*q3))/500000000000 + \\ & (318182949*aw1*\cos(q2)^2*\cos(q3))/2500000000 + \\ & (8060997*aw1*\cos(q2)^2*\sin(q3))/5000000000 - \\ & (173046867*w1*w2*\cos(q2)*\sin(q3))/1250000000 - \\ & (173046867*w1*w2*\cos(q3)*\sin(q2))/1250000000 - \\ & (173046867*w1*w3*\cos(q2)*\sin(q3))/1250000000 - \\ & (173046867*w1*w3*\cos(q3)*\sin(q2))/1250000000 - \\ & (4384051*w1*w2*\sin(q2)*\sin(q3))/2500000000 - \\ & (4384051*w1*w3*\sin(q2)*\sin(q3))/2500000000 + \\ & (8060997*aw1*\cos(q2)*\cos(q3)*\sin(q2))/5000000000 - \\ & (2919468111*w2^2*\cos(q2)*\cos(q3))/1250000000000 - \\ & (2919468111*w3^2*\cos(q2)*\cos(q3))/1250000000000 + \\ & (8060997*w1*w2*\cos(q2)^2*\cos(q3))/2500000000 + \\ & (8060997*w1*w3*\cos(q2)^2*\cos(q3))/5000000000 - \\ & (318182949*aw1*\cos(q2)*\sin(q2)*\sin(q3))/2500000000 - \\ & (73963183*w2^2*\cos(q2)*\sin(q3))/250000000000 - \\ & (73963183*w2^2*\cos(q3)*\sin(q2))/250000000000 - \\ & (73963183*w3^2*\cos(q2)*\sin(q3))/250000000000 - \\ & (73963183*w3^2*\cos(q3)*\sin(q2))/250000000000 - \\ & (318182949*w1*w2*\cos(q2)^2*\sin(q3))/1250000000 - \\ & (318182949*w1*w3*\cos(q2)^2*\sin(q3))/2500000000 + \\ & (2919468111*w2^2*\sin(q2)*\sin(q3))/1250000000000 + \\ & (2919468111*w3^2*\sin(q2)*\sin(q3))/1250000000000 - (47369679*aw1* \\ & \cos(90)*\sin(q2))/5000000000 + \\ & (496811973*aw1*\cos(q2)*\cos(q3)^2*\sin(q2))/312500000000 + \end{aligned}$$

```

(496811973*aw1*cos(q2)^2*cos(q3)*sin(q3))/312500000000 +
(496811973*w1*w2*cos(q2)^2*cos(q3)^2)/156250000000 +
(496811973*w1*w3*cos(q2)^2*cos(q3)^2)/156250000000 +
(73963183*aw2*cos(q2)*cos(q3))/250000000000 +
(73963183*aw3*cos(q2)*cos(q3))/250000000000 -
(2919468111*aw2*cos(q2)*sin(q3))/1250000000000 -
(2919468111*aw2*cos(q3)*sin(q2))/1250000000000 -
(2919468111*aw3*cos(q2)*sin(q3))/1250000000000 -
(2919468111*aw3*cos(q3)*sin(q2))/1250000000000 +
(4384051*w1*w2*cos(q2)*cos(q3))/25000000000 +
(4384051*w1*w3*cos(q2)*cos(q3))/25000000000 -
(73963183*aw2*sin(q2)*sin(q3))/2500000000000 -
(73963183*aw3*sin(q2)*sin(q3))/2500000000000 -
(35685576739*aw1*cos(q2)*cos(q3)*sin(q2)*sin(q3))/2500000000000 -
(35685576739*w1*w2*cos(q2)*cos(q3)^2*sin(q2))/1250000000000 -
(35685576739*w1*w2*cos(q2)^2*cos(q3)*sin(q3))/1250000000000 -
(35685576739*w1*w3*cos(q2)*cos(q3)^2*sin(q2))/1250000000000 -
(35685576739*w1*w3*cos(q2)^2*cos(q3)*sin(q3))/1250000000000 -
(2919468111*w2*w3*cos(q2)*cos(q3))/625000000000 -
(73963183*w2*w3*cos(q2)*sin(q3))/1250000000000 -
(73963183*w2*w3*cos(q3)*sin(q2))/1250000000000 +
(2919468111*w2*w3*sin(q2)*sin(q3))/625000000000 -
(318182949*w1*w2*cos(q2)*cos(q3)*sin(q2))/12500000000 -
(318182949*w1*w3*cos(q2)*cos(q3)*sin(q2))/25000000000 -
(8060997*w1*w2*cos(q2)*sin(q2)*sin(q3))/25000000000 -
(8060997*w1*w3*cos(q2)*sin(q2)*sin(q3))/50000000000 -
(496811973*w1*w2*cos(q2)*cos(q3)*sin(q2)*sin(q3))/156250000000 -
(496811973*w1*w3*cos(q2)*cos(q3)*sin(q2)*sin(q3))/156250000000

```

T2 =

$$\begin{aligned} & - (204529072000*w1^2*cos(q2) - 178453056633*aw3 - \\ & 322666312500*aw2*sin(q3)^2 - 391704212158*aw2 - \\ & 2015249250*w3^2*cos(q3) + 275233500*w1^2*sin(q2) + \\ & 159091474500*w3^2*sin(q3) - 318182949000*aw2*cos(q3) - \\ & 159091474500*aw3*cos(q3) - 4030498500*aw2*sin(q3) - \\ & 2015249250*aw3*sin(q3) - 322666312500*aw2*cos(q3)^2 - \\ & 4030498500*w2*w3*cos(q3) + 318182949000*w2*w3*sin(q3) - \\ & 118758816*w1^2*cos(q2)^2 + 118758816*w1^2*sin(q2)^2 - \\ & 350970375000*w1^2*cos(q3)^2*sin(q2) - \\ & 350970375000*w1^2*sin(q2)*sin(q3)^2 + 887850000*g^2*cos(q2) - \\ & 659771200000*g^2*sin(q2) + 2192025500*w1^2*cos(q2)*cos(q3) - \\ & 173046867000*w1^2*cos(q2)*sin(q3) - \\ & 173046867000*w1^2*cos(q3)*sin(q2) - \\ & 2192025500*w1^2*sin(q2)*sin(q3) + \\ & 2015249250*w1^2*cos(q2)^2*cos(q3) - 159091474500*w1^2* \\ & sin(90)^2*cos(q2)^2*sin(q3) - 558215700000*g^2*cos(q2)*cos(q3) + \\ & 11842419750*aw1*cos(q3)^2*sin(q2) - \\ & 7071050000*g^2*cos(q2)*sin(q3) - 7071050000*g^2*cos(q3)*sin(q2) \\ & + 11842419750*aw1*sin(q2)*sin(q3)^2 + \\ & 558215700000*g^2*sin(q2)*sin(q3) + \\ & 993623946*w1^2*cos(q2)^2*cos(q3)^2 - \\ & 993623946*w1^2*cos(q2)^2*sin(q3)^2 - \\ & 993623946*w1^2*cos(q3)^2*sin(q2)^2 - \\ & 2015249250*w1^2*cos(q3)^3*sin(q2)^2 + \\ & 993623946*w1^2*sin(q2)^2*sin(q3)^2 + \\ & 159091474500*w1^2*sin(q2)^2*sin(q3)^3 - \\ & 1132162500000*g^2*cos(q2)*cos(q3)^2 - \\ & 1132162500000*g^2*cos(q2)*sin(q3)^2 + \\ & 213250835899*w1^2*cos(q2)*sin(q2) - 73963183*aw1*cos(q2)*cos(q3) \\ & + 5838936222*aw1*cos(q2)*sin(q3) + \\ & 5838936222*aw1*cos(q3)*sin(q2) + 73963183*aw1*sin(q2)*sin(q3) - \\ & 144238428805*w1^2*cos(q2)*sin(q2)*sin(q3)^2 - \\ & 2015249250*w1^2*cos(q2)*sin(q2)*sin(q3)^3 + \\ & 178427883695*w1^2*cos(q3)*sin(q2)^2*sin(q3) - \\ & 2015249250*w1^2*cos(q3)*sin(q2)^2*sin(q3)^2 + \\ & 159091474500*w1^2*cos(q3)^2*sin(q2)^2* \\ & sin(q3) - 159091474500*w1^2*cos(q2)*cos(q3)*sin(q2) - \\ & 2015249250*w1^2*cos(q2)*sin(q2)*sin(q3) - \\ & 501094196195*w1^2*cos(q2)*cos(q3)^2*sin(q2) - \\ & 159091474500*w1^2*cos(q2)*cos(q3)^3*sin(q2) - \\ & 178427883695*w1^2*cos(q2)^2*cos(q3)*sin(q3) - \\ & 3974495784*w1^2*cos(q2)*cos(q3)*sin(q2)*sin(q3) - \\ & 159091474500*w1^2*cos(q2)*cos(q3)*sin(q2)*sin(q3)^2 - \\ & 2015249250*w1^2*cos(q2)*cos(q3)^2*sin(q2)*sin(q3)) / 2500000000000 \end{aligned}$$

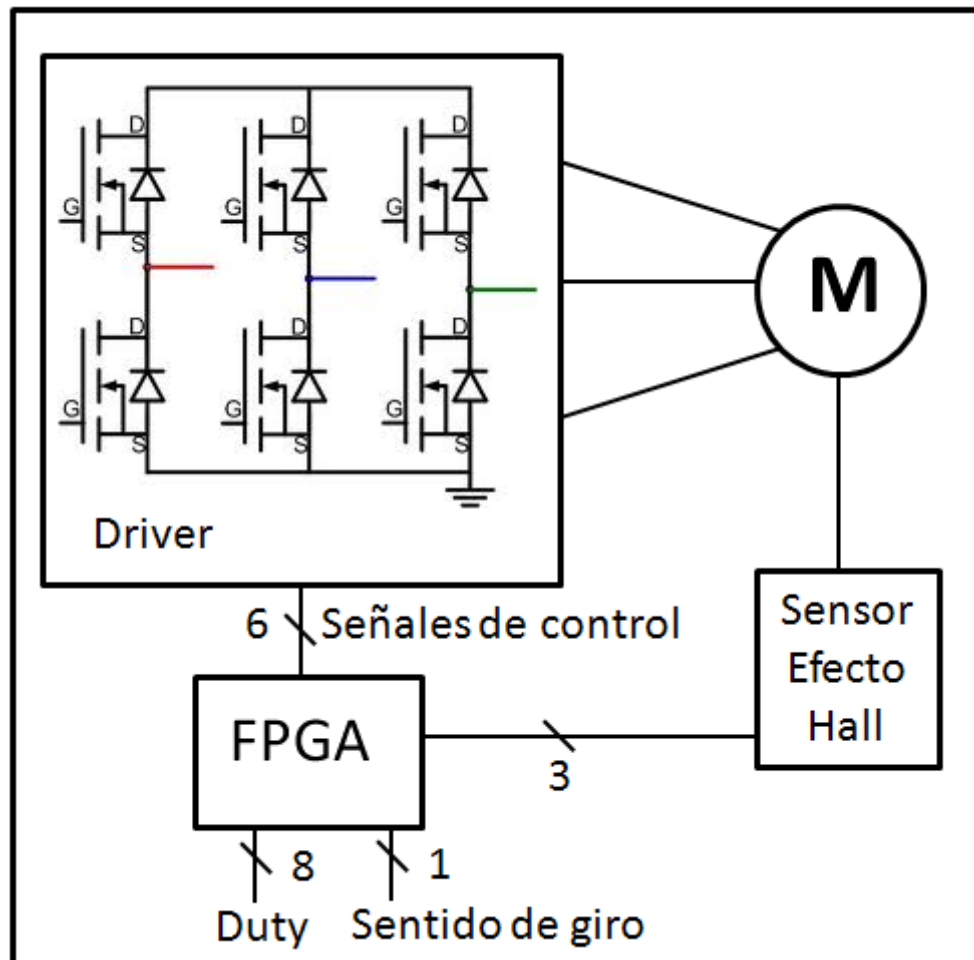
$$\begin{aligned}
T3 = & -(2015249250*w2^2*\cos(q3) - 178453056633*aw3 - \\
& 178453056633*aw2 - 159091474500*w2^2*\sin(q3) \\
& - 159091474500*aw2*\cos(q3) - 2015249250*aw2*\sin(q3) + \\
& 2192025500*w1^2*\cos(q2)*\cos(q3) - \\
& 173046867000*w1^2*\cos(q2)*\sin(q3) \\
& - 173046867000*w1^2*\cos(q3)*\sin(q2) - \\
& 2192025500*w1^2*\sin(q2)*\sin(q3) \\
& + 2015249250*w1^2*\cos(q2)^2*\cos(q3) - \\
& 159091474500*w1^2*\cos(q2)^2*\sin(q3) \\
& - 558215700000*g^2*\cos(q2)*\cos(q3) - \\
& 70710500000*g^2*\cos(q2)*\sin(q3) - 70710500000*g^2*\cos(q3)*\sin(q2) \\
& + 558215700000*g^2*\sin(q2)*\sin(q3) + \\
& 993623946*w1^2*\cos(q2)^2*\cos(q3)^2 - \\
& 993623946*w1^2*\cos(q2)^2*\sin(q3)^2 - \\
& 993623946*w1^2*\cos(q3)^2*\sin(q2)^2 + \\
& 993623946*w1^2*\sin(q2)^2*\sin(q3)^2 - \\
& 73963183*aw1*\cos(q2)*\cos(q3) + 5838936222*aw1*\cos(q2)*\sin(q3) + \\
& 5838936222*aw1*\cos(q3)*\sin(q2) + 73963183*aw1*\sin(q2)*\sin(q3) + \\
& 178427883695*w1^2*\cos(q2)*\sin(q2)*\sin(q3)^2 + \\
& 178427883695*w1^2*\cos(q3)*\sin(q2)^2*\sin(q3) - \\
& 159091474500*w1^2*\cos(q2)*\cos(q3)*\sin(q2) - \\
& 2015249250*w1^2*\cos(q2)*\sin(q2)*\sin(q3) - \\
& 178427883695*w1^2*\cos(q2)*\cos(q3)^2*\sin(q2) - \\
& 178427883695*w1^2*\cos(q2)^2*\cos(q3)*\sin(q3) - \\
& 3974495784*w1^2*\cos(q2)*\cos(q3)*\sin(q2)*\sin(q3))/2500000000000
\end{aligned}$$

Como se puede observar, los torques, quedaron en función de los parámetros antes mencionados.

Implementación del controlador del motor para FPGA

Se implementó un controlador para un motor del tipo Brushless utilizando como driver un puente H completo trifásico, como controlador un FPGA para el cual se ah escrito el código correspondiente y un sensor de efecto Hall para realimentar la posición del motor.

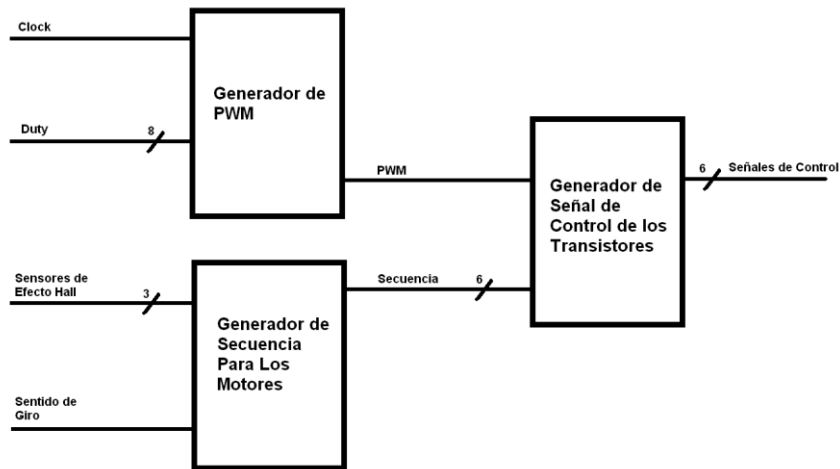
Esquema del sistema:



El sistema que se encarga de comandar el motor se comunica con el FPGA brindándole los datos de duty y sentido de giro. El FPGA genera las señales correspondientes para controlar el puente H. El sensor de efecto Hall realimenta al FPGA la posición del motor, para que este sepa qué par de transistores del puente activar.

Las señales de control de los transistores son del tipo PWM para poder variar la velocidad del motor. La velocidad está dada por el ancho de los pulsos del PWM generado. Este ancho es regulado por el sistema de control externo a través de las líneas de "Duty". Aparte, el sistema de control externo debe indicar el sentido de giro.

El diagrama en bloques del controlador implementado en el FPGA es el siguiente:



Los códigos implementados:

Código que realiza la interconexión entre las 3 unidades creadas (Generador de PWM, Generador de secuencia y generador de señal de control).

```

_*****
-- Archivo: Control_Motor.vhd
-- Created : 19/07/12
_*****

library IEEE;
USE ieee.std_logic_1164.all;
USE ieee.std_logic_arith.all ;

_*****
-- Declaro la entidad de Mayor jerarquia
_*****

ENTITY Control_Motor Is

PORT (DutyControl :in STD_LOGIC_VECTOR (7 downto 0);

      Sensores:in STD_LOGIC_VECTOR (2 downto 0);

      ClockPwm, ResetPwm, Sentido_de_Giro :in STD_LOGIC;

      Pwm1,Pwm2,Pwm3,Pwm4,Pwm5,Pwm6 :out STD_LOGIC

);

```



```
END Control_Motor;
```

```
--*****
```

```
-- Declaro el comportamiento de la entidad
```

```
--*****
```

```
ARCHITECTURE ArchMotorControl of Control_Motor IS
```

```
--*****
```

```
-- Defino que componentes voy a utilizar
```

```
--*****
```

```
COMPONENT Secuenciador Is
```

```
PORT (SensoresHall: in std_logic_vector(2 downto 0);
```

```
      Sentido_Giro: in std_logic;
```

```
      Q1, Q2, Q3, Q4, Q5, Q6 :out STD_LOGIC
```

```
    );
```

```
END COMPONENT;
```

```
COMPONENT Logica_Transistores IS
```

```
PORT ( INI1,INI2,INI3,INI4,INI5,INI6,PWM      :in STD_LOGIC;
```

```
      OUT1,OUT2,OUT3,OUT4,OUT5,OUT6      :out STD_LOGIC
```

```
    );
```

```
END COMPONENT;
```

```
COMPONENT PWM_fpga
```

```
PORT (
```

```
      clock: in std_logic;
```

```
      reset: in std_logic;
```

```
      data_value: in std_logic_vector(7 downto 0);
```

```
      pwm: out std_logic
```

```
    );
```

```
END COMPONENT;
```

```
--*****
```

```
-- Declaracion de Señales Internas
```

```
--*****
```

```
SIGNAL LinePwm, T1, T2, T3, T4, T5, T6: STD_LOGIC;
```

```
SIGNAL SDutyControl : STD_LOGIC_VECTOR (7 downto 0);
```

```
SIGNAL SSecuencia : STD_LOGIC_VECTOR (1 downto 0);
```

```
SIGNAL SClockPwm, SResetPwm : STD_LOGIC;
```

```
SIGNAL SPwm1,SPwm2,SPwm3,SPwm4,SPwm5,SPwm6 : STD_LOGIC;
```

```
BEGIN
```

```
--*****
```

```
-- Describo interconexion de los bloques
```

```
--*****
```

```
BloquePwm : PWM_fpga
```

```
PORT MAP
```

```
(
```

```
clock => ClockPwm,  
reset => ResetPwm,  
data_value => DutyControl,  
pwm => LinePwm
```

```
);
```

```
BloqueSecuenciador : Secuenciador
```

```
PORT MAP
```

```
(
```

```
Sentido_Giro => Sentido_de_Giro,  
SensoresHall => Sensores,  
Q1 => T1,  
Q2 => T2,  
Q3 => T3,  
Q4 => T4,  
Q5 => T5,  
Q6 => T6
```

```
);
```

BloqueLogica : Logica_Transistores

PORT MAP

```
(
```

```
INI1 => T1,
```

```
INI2 => T2,
```

```
INI3 => T3,
```

```
INI4 => T4,
```

```
INI5 => T5,
```

```
INI6 => T6,
```

```
PWM => LinePwm,
```

```
OUT1 => Pwm1,
```

```
OUT2 => Pwm2,
```

```
OUT3 => Pwm3,
```

```
OUT4 => Pwm4,
```

```
OUT5 => Pwm5,
```

```
OUT6 => Pwm6
```

```
);
```

END ArchMotorControl;

Código generador del PWM.

```
--*****
```

```
-- Archivo: PWm_fpga.vhd
```

```
-- Created : 19/07/12
```

```
--*****
```

```
library IEEE;
```

```
use ieee.std_logic_1164.all;
```

```
use ieee.std_logic_arith.all;
```

```
use ieee.std_logic_unsigned.all ;
```

ENTITY PWM_fpga IS

```
PORT ( clock,reset           :in STD_LOGIC;
```

```
      Data_value             :in std_logic_vector(7 downto 0);
```

```
      pwm                    :out STD_LOGIC
```

```
);END PWM_fpga;
```

ARCHITECTURE arch_pwm OF PWM_fpga IS

```
SIGNAL reg_out      : std_logic_vector(7 downto 0);
```

```
SIGNAL cnt_out_int      : std_logic_vector(7 downto 0);
```

SIGNAL pwm_int, rco_int : STD_LOGIC;

BEGIN

-- Registro de 8 bits que guarda el valor para determinar el ancho del pulso.

```
PROCESS(clock,reg_out,reset)
```

BEGIN

```
IF (reset ='1') THEN
```

```
reg_out <= "00000000";
```

```
ELSIF (rising_edge(clock)) THEN
```

```
reg_out <= data_value;
```

END IF;

END PROCESS;

- Contador up y down de 8 bits. Este contador cuenta con la entrada clock y genera la señal

-- de cuenta terminal cuando se alcanza el maximo valor del registro o se pasa de 0 a al maximo valor

-- en caso de que se decremente. Esta señal se utiliza para generar el PWM.

```
PROCESS (clock,cnt_out_int,rco_int,reg_out)
```

BEGIN

IF (rco_int = '1') THEN

```
cnt_out_int <= reg_out;
```

```
ELSIF rising_edge(clock) THEN
```

```
IF (rco_int = '0' and pwm_int ='1' and cnt_out_int <"11111111") THEN
```

```
cnt_out_int <= cnt_out_int+1;
```

ELSE

```
IF (rco int ='0' and pwm int ='0' and cnt out int > "00000000") THEN
```

```
cnt out int<= cnt out int-1;
```

```

        END IF;

END IF;

END IF;

END PROCESS;

-- Logica para generar la señal RCO.

PROCESS(cnt_out_int, rco_int, clock,reset)

BEGIN

    IF (reset ='1') THEN

        rco_int <='1';

    ELSIF rising_edge(clock) THEN

        IF ((cnt_out_int = "11111111") or (cnt_out_int ="00000000")) THEN

            rco_int <= '1';

        ELSE

            rco_int <='0';

        END IF;

    END IF;

END IF;

END PROCESS;

-- Cambiamos el estado del flip-flopr para generar el PWM.

PROCESS (clock,rco_int,reset)

BEGIN

    IF (reset = '1') THEN

        pwm_int <='0';

    ELSIF rising_edge(rco_int) THEN

        pwm_int <= NOT(pwm_int);

    ELSE

        pwm_int <= pwm_int;

    END IF;

```

```
END PROCESS;

pwm <= pwm_int;

END arch_pwm;
```

Código generador de secuencias para los motores.

```
--*****
-- Archivo: Secuenciador.vhd
-- Created : 19/07/12
--*****

library IEEE;

USE ieee.std_logic_1164.all;

USE ieee.std_logic_arith.all ;

ENTITY Secuenciador Is

    PORT (SensoresHall: in std_logic_vector(2 downto 0);

        Sentido_Giro: in std_logic;

        Q1, Q2, Q3, Q4, Q5, Q6 :out STD_LOGIC

        );

END Secuenciador;

ARCHITECTURE ArchSecuenciador of Secuenciador IS

BEGIN

    PROCESS(SensoresHall,Sentido_Giro)

    BEGIN

        IF(Sentido_Giro = '0') THEN -- Para sentido horario

            CASE SensoresHall IS

                WHEN "001" =>

                    Q1 <= '1';
                    Q3 <= '0';
                    Q5 <= '0';
                    Q6 <= '1';
                    Q4 <= '0';
                    Q2 <= '0';
```

WHEN "000" =>

Q1 <= '1';
Q3 <= '0';
Q5 <= '0';
Q6 <= '0';
Q4 <= '1';
Q2 <= '0';

WHEN "100" =>

Q1 <= '0';
Q3 <= '0';
Q5 <= '1';
Q6 <= '0';
Q4 <= '1';
Q2 <= '0';

WHEN "110" =>

Q1 <= '0';
Q3 <= '0';
Q5 <= '1';
Q6 <= '0';
Q4 <= '0';
Q2 <= '1';

WHEN "111" =>

Q1 <= '0';
Q3 <= '1';
Q5 <= '0';
Q6 <= '0';
Q4 <= '0';
Q2 <= '1';

WHEN "011" =>

Q1 <= '0';
Q3 <= '1';
Q5 <= '0';
Q6 <= '1';
Q4 <= '0';
Q2 <= '0';

WHEN OTHERS => NULL;

END CASE;

```

END IF;

IF(Sentido_Giro = '1') THEN -- Para sentido antihorario

CASE SensoresHall IS

WHEN "011" =>

        Q1 <= '0';
        Q3 <= '0';
        Q5 <= '1';
        Q6 <= '0';
        Q4 <= '1';
        Q2 <= '0';

WHEN "111" =>

        Q1 <= '1';
        Q3 <= '0';
        Q5 <= '0';
        Q6 <= '0';
        Q4 <= '1';
        Q2 <= '0';

WHEN "110" =>

        Q1 <= '1';
        Q3 <= '0';
        Q5 <= '0';
        Q6 <= '1';
        Q4 <= '0';
        Q2 <= '0';

WHEN "100" =>

        Q1 <= '0';
        Q3 <= '1';
        Q5 <= '0';
        Q6 <= '1';
        Q4 <= '0';
        Q2 <= '0';

WHEN "000" =>

        Q1 <= '0';
        Q3 <= '1';
        Q5 <= '0';
        Q6 <= '0';
        Q4 <= '0';

```



```

                Q2 <= '1';

        WHEN "001" =>

                Q1 <= '0';
                Q3 <= '0';
                Q5 <= '1';
                Q6 <= '0';
                Q4 <= '0';
                Q2 <= '1';

        WHEN OTHERS => NULL;

    END CASE;

END IF;

END PROCESS;

END ArchSecuenciador;

```

Generador de señales de control de los transistores.

```

--*****
-- Archivo: Logica_Transistores.vhd
-- Created : 19/07/12
--*****

library IEEE;

USE ieee.std_logic_1164.all;

USE ieee.std_logic_arith.all ;

ENTITY Logica_Transistores IS

    PORT ( INI1,INI2,INI3,INI4,INI5,INI6,PWM      :in STD_LOGIC;

           OUT1,OUT2,OUT3,OUT4,OUT5,OUT6      :out STD_LOGIC

    );

END Logica_Transistores;

ARCHITECTURE arch_logica OF Logica_Transistores IS

    BEGIN

    OUT1<= INI1;

    OUT3<= INI3;

```

```

OUT5<= INI5;

OUT2<= INI2 and PWM;

OUT4<= INI4 and PWM;

OUT6<= INI6 and PWM;

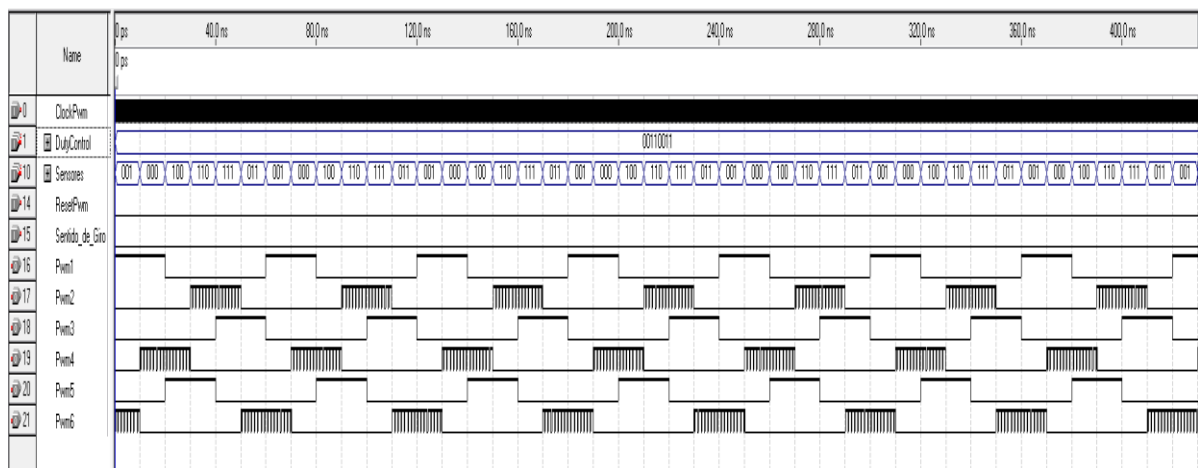
END arch_logica;

```

Compilación y simulación:

Se utilizó el programa Quartus de Altera para realizar la compilación y simulación del código.

Los resultados obtenidos en la simulación fueron.



Como se puede observar en la imagen se han graficado los datos del duty, señal del sensor de efecto Hall, el sentido de giro y las 6 señales para el puente H. Se puede observar que todo el sistema cumple con las especificaciones del mismo.