

Anexo A

Diagrama temporal

El objetivo de este anexo es informar del tiempo total dedicado al proyecto y de la distribución de las tareas en las que se ha dividido el mismo a lo largo del tiempo.

Debido a restricciones personales, no he podido dedicarme al proyecto a jornada completa, por tanto se ha completado en seis meses de trabajo a media jornada. En la [Tabla A.1](#) se puede observar la distribución de tiempo dedicado a las diferentes tareas.

	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto
Estudio Sensores						
Estudio CNC						
Estudio DAQ						
Implementación						
Montaje						
GRR						
Memoria						

Tabla A.1: Distribución temporal del trabajo realizado.

Anexo B

Análisis GRR

En este anexo se presentan las tablas con los datos tomados y los cálculos realizados para llevar a cabo el análisis GRR. Así mismo se explica el procedimiento seguido para efectuar dicho análisis.

Procedimiento

Para cada uno de los sensores se tomaron tres medidas mientras estaban sometidos a cada una de las diez cargas conocidas (masa o nivel de agua). De estas tres medidas se obtuvo la media y el rango (diferencia entre la mayor y la menor), para calcular la media de las medias ($\bar{X}_i$) y la media de los rangos ($\bar{R}_i$) de cada sensor. Con estos valores se calculó la media de todas las medidas ($\bar{\bar{X}}$) y la media de todos los rangos ($\bar{\bar{R}}$). R_p se calculó tomando la diferencia entre el mayor y el menor valor de las medidas medias de las piezas. Por último $\bar{X}_{DIFF}$ es la diferencia entre la mayor y la menor de las medias de las medias ($\bar{X}_i$).

Análisis

La variación del equipo (EV) se calcula multiplicando $\bar{\bar{R}}$ y un parámetro K_1 que puede obtenerse de una tabla de valores estadísticos proporcionada por la AIAG y depende del número de intentos, el número de cargas conocidas y el número de sensores.

$$EV = \bar{\bar{R}} \times K_1$$

El valor de AV (Variación de operario o sensor) es calculado al multiplicar $\bar{X}_{DIFF}$ por K_2 , que también se extrae de la misma tabla. Como el valor de AV se encuentra contaminado por EV hay que sustraer una fracción de esta, calculándose AV como:

$$AV = \sqrt{(\bar{X}_{DIFF} \times K_2)^2 - \frac{EV^2}{(nr)}}$$

$(n = \text{piezas} \quad r = \text{intentos})$

La variación del sistema por reproducibilidad y repetibilidad (GRR) se calcula como la suma de los cuadrados de EV y AV :

$$GRR = \sqrt{EV^2 + AV^2}$$

Para calcular la variación total (TV) necesitamos incluir el error provocado por la variación entre las cargas conocidas con las que se ha realizado el estudio (PV). Ésta se calcula a partir de R_p y un parámetro K_3 también extraído de la citada tabla.

$$PV = R_p \times K_3$$

$$TV = \sqrt{GRR^2 + PV^2}$$

Por último se calculan los valores porcentuales de cada uno de los parámetros EV , AV , GRR y PV comparados con TV .

$$\%EV = 100 \times \frac{EV}{TV}$$

$$\%AV = 100 \times \frac{AV}{TV}$$

$$\%GRR = 100 \times \frac{GRR}{TV}$$

$$\%PV = 100 \times \frac{PV}{TV}$$

Un valor de $\%GRR < 30\%$ nos indica que el sistema de medida es adecuado para nuestro rango de medida, si bien sería interesante reducirlo por debajo del 10% haciendo ajustes o cambios en el sistema de medida. Un valor menor del 10% indica un sistema de medición excelente.

Por último, ndc indica la cantidad de categorías que se pueden identificar en el análisis, ha de ser mayor que cinco para que los resultados del estudio se puedan considerar correctos.

$$ndc = 1,41 \times \frac{PV}{GRR}$$

Tablas

		Pieza										Medias
Sensor A	Intento	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	1	71,707	304,142	121,528	204,527	237,732	270,937	138,117	370,553	353,964	171,322	
	2	71,707	304,142	104,912	204,527	237,732	287,554	138,117	370,553	337,348	171,322	
	3	71,707	304,142	104,912	204,527	254,348	270,937	138,117	370,553	337,348	171,322	
	Media	71,707	304,142	110,451	204,527	243,271	276,476	138,117	370,553	342,886	171,322	$\bar{X}_a = 223,345$
	Rango	0	0	16,616	0	16,616	16,616	0	0	16,616	0	$\bar{R}_a = 6,646$
Sensor B	Intento	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	1	71,707	320,759	104,912	204,527	237,732	270,937	138,117	370,553	337,348	171,322	
	2	71,707	320,759	104,912	204,527	237,732	270,937	138,117	370,553	337,348	171,322	
	3	88,323	304,142	104,912	204,527	237,732	270,937	138,117	370,553	337,348	171,322	
	Media	77,245	315,220	104,912	204,527	237,732	270,937	138,117	370,553	337,348	171,322	$\bar{X}_b = 222,791$
	Rango	16,616	16,616	0	0	0	16,616	0	0	0	0	$\bar{R}_b = 4,985$
Sensor C	Intento	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	1	71,707	287,533	88,302	187,918	237,732	254,328	121,508	353,943	320,738	154,713	
	2	55,097	287,533	88,302	204,527	221,123	254,328	121,508	353,943	320,738	154,713	
	3	71,707	287,533	88,302	187,918	221,123	254,328	121,508	353,943	320,738	154,713	
	Media	66,170	287,533	88,302	193,454	226,659	254,328	121,508	353,943	320,738	154,713	$\bar{X}_c = 206,735$
	Rango	16,609	0	0	16,609	16,609	0	0	0	0	0	$\bar{R}_c = 4,983$
Sensor D	Intento	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	1	71,707	287,533	104,912	221,143	237,732	270,937	138,117	370,553	337,348	171,322	
	2	71,707	304,142	104,912	204,527	237,732	270,937	154,733	370,553	337,348	171,322	
	3	55,097	304,142	121,528	204,527	237,732	270,937	138,117	370,553	337,348	171,322	
	Media	66,170	298,606	110,451	210,066	237,732	270,937	143,656	370,553	337,348	171,322	$\bar{X}_d = 221,684$
	Rango	16,609	16,609	16,616	16,616	0	0	16,616	0	0	0	$\bar{R}_d = 8,307$
Media Piezas		70,323	301,375	103,529	203,144	236,349	268,170	135,349	366,400	334,580	167,170	$\bar{\bar{X}} = 218,639$ $R_p = 296,077$
$\bar{R} = ([\bar{R}_a = 6,646] + [\bar{R}_b = 4,985] + [\bar{R}_c = 4,983] + [\bar{R}_d = 8,307]) / [N^{\circ} sensores = 4] = 6,230$												$\bar{\bar{R}} = 6,230$
$\bar{X}_{DIFF} = [max \bar{X} = 223,345] - [min \bar{X} = 206,735] = 16,610$												$\bar{X}_{DIFF} = 16,610$
$[\bar{R} = 6,230] \times [D_4 = 3,27] = UCL_R = 22,410$												
$D_4 = 3,27$ para tres intentos y $2,58$ para dos intentos. UCL_R representa el límite individual de los rangos (R). Señala aquellos que estén fuera de los límites e identifica la causa del error. Repite las medidas con el mismo operario y pieza que se uso originalmente o descarta esos valores y recalcula $\bar{R}$ con las medidas restantes.												

Tabla B.1: Medidas de los sensores de fuerza.

De la hoja de datos: $\bar{\bar{R}} = 6,230$ $\bar{X}_{DIFF} = 16,610$ $R_p = 296,077$		
Análisis de la unidad de medida		Porcentaje de la variación Total (TV)
Repetibilidad - Variación del Equipo (EV) $EV = \bar{\bar{R}} \times K_1$ $= \bar{\bar{R}} \times 0,5908$ $= 4,049$	Intentos	K_1
	2	0,8862
	3	0,5908
Reproducibilidad - Variación del Operario (AV) $AV = \sqrt{(\bar{X}_{DIFF} \times K_2)^2 - \frac{EV^2}{(nr)}}$ $= \sqrt{(16,610 \times 0,4467)^2 - (7,894^2 / (10 \times 3))}$ $= 7,382$ ($n = piezas$ $r = intentos$)	Operarios	K_2
	2	0,7071
	3	0,5231
Reproducibilidad y Repetibilidad (GRR) $GRR = \sqrt{EV^2 + AV^2}$ $= \sqrt{4,049^2 + 7,382^2}$ $= 8,420$	Intentos	K_3
	2	0,7071
	3	0,5231
Variación de las piezas (PV) $PV = R_p \times K_3$ $= 296,077 \times 0,3146$ $= 93,146$	4	0,4467
	5	0,4030
	6	0,3742
	7	0,3534
Variación Total (TV) $TV = \sqrt{GRR^2 + PV^2}$ $= \sqrt{8,420^2 + 93,146^2}$ $= 93,526$	8	0,3375
	9	0,3249
	10	0,3146
		$\%EV = 100 \times \frac{EV}{TV}$ $= 100 \times \frac{4,049}{93,526}$ $= 4,329\%$
		$\%AV = 100 \times \frac{AV}{TV}$ $= 100 \times \frac{7,382}{93,526}$ $= 7,894\%$
		$\%GRR = 100 \times \frac{GRR}{TV}$ $= 100 \times \frac{8,420}{93,526}$ $= 9,003\%$
		$\%PV = 100 \times \frac{PV}{TV}$ $= 100 \times \frac{93,146}{93,526}$ $= 99,594\%$
		$ndc = 1,41 \times \frac{PV}{GRR}$ $= 1,41 \times \frac{93,146}{8,420}$ $= 15,598$

Tabla B.2: Análisis de las medidas de los sensores de fuerza.

		Pieza										Medias
Sensor P-A	Intento	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	1	5,256	2,172	7,304	9,378	4,115	0,046	6,240	8,393	1,083	3,182	
	2	5,256	2,145	7,330	9,378	4,141	0,019	6,240	8,419	1,135	3,157	
	3	5,256	2,067	7,330	9,325	4,167	-0,031	6,240	8,393	1,109	3,157	
	Media	5,256	2,128	7,321	9,360	4,141	0,011	6,240	8,402	1,109	3,165	
	Rango	0	0,104	0,025	0,052	0,051	0,078	0	0,025	0,052	0,025	$\bar{R}_a = 0,041$
Sensor P-B	Intento	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	1	5,078	2,164	7,029	8,980	4,188	0,263	6,090	8,064	1,298	3,248	
	2	5,127	2,238	7,029	9,004	4,237	0,311	6,065	7,968	1,298	3,201	
	3	5,127	2,238	7,053	8,980	4,212	0,359	6,114	7,992	1,298	3,225	
	Media	5,111	2,213	7,037	8,988	4,212	0,311	6,090	8,008	1,298	3,225	
	Rango	0,048	0,073	0,024	0,023	0,048	0,048	0,048	0,096	0	0,047	$\bar{R}_b = 0,0461$
	Media Piezas	5,183	2,171	7,179	9,174	4,176	0,161	6,165	8,205	1,204	3,195	$\bar{\bar{X}} = 4,682$ $R_p = 9,013$
$\bar{\bar{R}} = ([\bar{R}_a = 0,041] + [\bar{R}_b = 0,0461]) / [N^{\circ} sensores = 2] = 0,0439$												$\bar{\bar{R}} = 0,0439$
$\bar{X}_{DIFF} = [max \bar{X} = 4,713] - [min \bar{X} = 4,649] = 0,064$												$\bar{X}_{DIFF} = 0,064$
$[\bar{\bar{R}} = 6,230] \times [D_4 = 3,27] = UCL_R = 0,143$												
$D_4 = 3,27$ para tres intentos y $2,58$ para dos intentos. UCL_R representa el límite individual de los rangos (R). Señala aquellos que estén fuera de los límites e identifica la causa del error. Repite las medidas con el mismo operario y pieza que se uso originalmente o descarta esos valores y recalcula $\bar{\bar{R}}$ con las medidas restantes.												

Tabla B.3: Medidas de los sensores de presión.

Anexo B. Análisis GRR

De la hoja de datos: $\bar{\bar{R}} = 0,0439$ $\bar{X}_{DIFF} = 0,0641$ $R_p = 9,013$			
Análisis de la unidad de medida			Porcentaje de la variación Total (TV)
Repetibilidad - Variación del Equipo (EV) $EV = \bar{\bar{R}} \times K_1$ $= 0,0439 \times 0,5908$ $= 0,0259$	Intentos	K_1	$\%EV = 100 \times \frac{EV}{TV}$ $= 100 \times \frac{0,0259}{2,836}$ $= 0,915\%$
	2	0,8862	
	3	0,5908	
Reproducibilidad - Variación del Operario (AV) $AV = \sqrt{(\bar{X}_{DIFF} \times K_2)^2 - \frac{EV^2}{(nr)}}$ $= \sqrt{(0,0641 \times 0,7071)^2 - (0,0259^2 / (10 \times 3))}$ $= 0,0451$ ($n = piezas$ $r = intentos$)	Operarios	K_2	$\%AV = 100 \times \frac{AV}{TV}$ $= 100 \times \frac{0,0451}{2,836}$ $= 1,589\%$
	2	0,7071	
	3	0,5231	
Reproducibilidad y Repetibilidad (GRR) $GRR = \sqrt{EV^2 + AV^2}$ $= \sqrt{0,0259^2 + 0,0451^2}$ $= 0,052$	Intentos	K_3	$\%GRR = 100 \times \frac{GRR}{TV}$ $= 100 \times \frac{0,052}{2,836}$ $= 1,834\%$
	2	0,7071	
	3	0,5231	
Variación de las piezas (PV) $PV = R_p \times K_3$ $= 9,013 \times 0,3146$ $= 2,835$	4	0,4467	$\%PV = 100 \times \frac{PV}{TV}$ $= 100 \times \frac{2,835}{2,836}$ $= 99,983\%$
	5	0,4030	
	6	0,3742	
Variación Total (TV) $TV = \sqrt{GRR^2 + PV^2}$ $= \sqrt{0,052^2 + 2,835^2}$ $= 2,836$	7	0,3534	$ndc = 1,41 \times \frac{PV}{GRR}$ $= 1,41 \times \frac{2,835}{0,052}$ $= 76,876$
	8	0,3375	
	9	0,3249	
	10	0,3146	

Tabla B.4: Análisis de las medidas de los sensores de presión.

Anexo C

Circuito electrónico de la compuerta

En este anexo se muestra el circuito esquemático diseñado para hacer el control automático de la compuerta y el pineado del conector situado en la caja de control del canal.

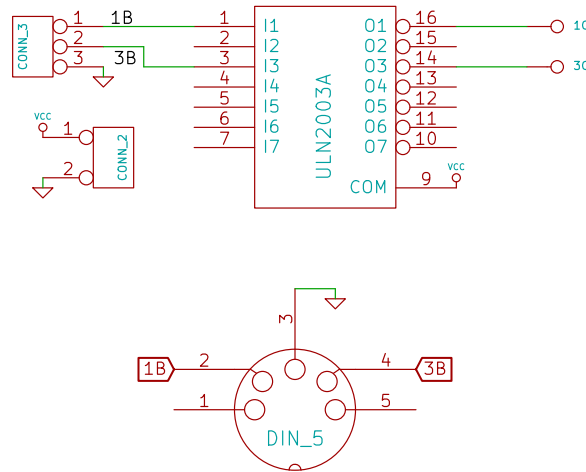


Figura C.1: Diseño del circuito electrónico para el control automático de la compuerta.

Los terminales $1C$ y $3C$ se conectan a las válvulas que acciona el cilindro hidráulico. V_{cc} y GND se conectan a $+12V$ y $-12V$, respectivamente. Los terminales del conector $CONN_3$ se enlazan con el conector DIN situado en la pared de la caja de conexiones.

Anexo D

Esquema de conexiones

El objetivo de este anexo es guardar registro de las conexiones de los sensores a la tarjeta de adquisición de datos.

68	→ Sensor Fuerza 1 - Señal	61	→ Sensor Fuerza Aux - GND / DGND
34	→ Sensor Fuerza 1 - GND / DGND	27	
67		60	→ Sensor Presión 1 - Salida +
33	→ Sensor Fuerza 2 - Señal	26	→ Sensor Presión 1 - Salida -
66	→ Sensor Fuerza 2 - GND / DGND	59	
32		25	→ Sensor Presión 2 - Salida +
65	→ Sensor Fuerza 3 - Señal	58	→ Sensor Presión 2 - Salida -
31	→ Sensor Fuerza 3 - GND / DGND	24	
64		57	
30	→ Sensor Fuerza 4 - Señal	23	
63	→ Sensor Fuerza 4 - GND / DGND	56	
29		22	
62		55	
28	→ Sensor Fuerza Aux - Señal	21	

15	DGND → Actuador - GND	8	+5V → Sensores Fuerza - V_{cc}
49		42	
16		9	DGND → Sensores Fuerza - GND
50		43	
17	P0.1 → Actuador - 3B (Cerrar)	10	
51		44	
18		11	
52	P0.0 → Actuador - 1B (Abrir)	45	
19		12	
53		46	
20		13	
54		47	
		14	
		48	

Tabla D.1: Conexiones de los sensores a la tarjeta de adquisición de datos.

Bibliografía

- [1] Lau, Alex: *What Are Repeatability and Reproducibility? Part 1: A D02 Viewpoint for Laboratories*. ASTM Standarization News, 37(2), Abril 2009. http://www.astm.org/SNEWS/MA_2009/datapoints_ma09.html, visitado el 6 de julio de 2016.
- [2] AIAG: *Measurement Systems Analysis (MSA)*. Auromotive Industry Action Group, 2010, ISBN 1605342114.
- [3] *Scientific Solutions - History*, 2004. <https://labmaster.com/archives/archives.html>, visitado el 2 de agosto de 2016.
- [4] Lynch, Mike: *Key CNC Concept #1—The Fundamentals Of CNC*. Modern Machine Shop, Abril 1997. <http://www.mmsonline.com/articles/key-cnc-concept-1the-fundamentals-of-cnc>, visitado el 9 de mayo de 2016.
- [5] Sensor Technics: *SDXL005, SDXL010. Compensated Pressure Sensors in a DIP Package*, Enero 1998. <http://www.farnell.com/datasheets/13802.pdf>, visitado el 12 de julio de 2016.
- [6] National Instruments: *NI 6030E/6031E/6032E/6033E Family Specifications*, 2005. <http://www.ni.com/pdf/manuals/370720c.pdf>, visitado el 5 de mayo de 2016.
- [7] Measurement Specialties: *FC22 Compression Load Cell*, Marzo 2015. <http://www.meas-spec.com/downloads/FC22.pdf>, visitado el 19 de julio de 2016.
- [8] Shaban Eissa, Mohamed: *Dam-Break Induced Flow. High-resolution measurements in scaled geometry*. Tesis de Doctorado, Universidad de Zaragoza, Junio 2003.
- [9] García Palacín, José Ignacio: *Conceptos Básicos de Medida*. En *Apuntes del Master Ingeniería de los Recursos Hídricos*. Área de Mecánica de Fluidos, Universidad de Zaragoza.
- [10] Shannon, C. E.: *Communication in the Presence of Noise*. Proc. Institute of Radio Engineers, 37(1):10–21, 1949. <https://web.stanford.edu/class/ee104/shannonpaper.pdf>, visitado el 1 de agosto de 2016.
- [11] Texas Instruments: *ULN200x, ULQ200x High-Voltage, High-Current Darlington Transistor Arrays*, Enero 2016. <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/uln2003a.pdf>, visitado el 21 de julio de 2016.

- [12] *Automation systems and integration – Numerical control of machines – Program format and definitions of address words – Part 1: Data format for positioning, line motion and contouring control systems*. Standard ISO 6983-1:2009, International Organization for Standardization, 2009.
- [13] ISEL Automation: *C-142 Microstep Controller - Hardware Manual*, Mayo 1999. https://www.isel.com/en/downloads/dl/file/id/4261/c142_4_1_hardware_manual_complete.pdf, visitado el 21 de agosto de 2016.
- [14] ISEL Automation: *ISEL Automation - Catalogue General*, 2010. http://www.ressource.isel.fr/root/Catalogue_general_isel_france.pdf, visitado el 21 de agosto de 2016.
- [15] Tavoularis, Stavros: *Measurement in Fluid Mechanics*. Cambridge University Press, 2005, ISBN 0521815185.
- [16] National Instruments: *NI CB-68LP/CB-68LPR Unshielded 68-Pin Screw Terminal Connector Block Accessories*, 2013. <http://www.ni.com/pdf/manuals/373853a.pdf>, visitado el 5 de mayo de 2016.