
Diseño y desarrollo de un mecanismo para controlar ángulos de ataque de perfiles en túnel de viento

José Guadalupe Vázquez Sandoval, Alfredo Villanueva Montellano, Noé Alba Baena, Shehret Tilvaldyev, Juan Miguel Díaz Mendoza

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

RESUMEN

Dentro de la operación de un túnel de viento, es indispensable contar con un mecanismo que permita realizar cambios en la posición o ángulo en el que el cuerpo bajo estudio ataca al viento que incide sobre él, dichos mecanismo puede ser manual, semiautomático o automático. El mecanismo para controlar ángulos de ataque en el túnel de viento del laboratorio de Aeronáutica, está integrado por un sistema Mecatrónica conformado por un Controlador Lógico Programable AB Micrologix 1000, un Motor de Pasos Act-Motor 17H3404, un manejador de motor de pasos 2H Microstep driver DM420, variador de frecuencias, fuente de voltaje Lambda HSB24-1.2 y sensores binarios o interruptores. El valor de ángulo de ataque en el que se desea se coloque el perfil, puede ser ingresado por medio de sensor binario, pero además cuenta con la opción de que estos sean ingresados con el uso de una conexión entre el PLC y una interfase hombre-máquina (pantalla sensible al tacto), una vez ingresada la información el mecanismo automáticamente se encarga de colocar la pieza en el ángulo de ataque deseado . Los componentes que integran este mecanismo o sistema tienen un alto nivel de uso en los equipos automatizados tanto en la industria local como internacional. El lenguaje de programación RsLogix 500, es también de uso muy frecuente en proyectos de autómatas. Lo anterior da evidencia que la elección de los componentes del sistemas se realizó tomando en cuenta su grado de uso en la industria local y por lo tanto la facilidad para conseguirlos a un bajo costo. Este mecanismo garantiza gran precisión y rapidez en los cambios de ángulo de ataque durante las pruebas realizadas en el túnel de viento..

Palabras clave: Automático , Precisión, Tiempo de ajuste.

INTRODUCCIÓN

Desde el inicio de la inteligencia humana, la idea de volar de la misma manera como lo hacen las aves se ha mantenido en la mente del ser humano; la implementación y el uso de ornitópteros, que pretendían realizar las mismas funciones que las alas de las aves, fue evolucionando a tal grado de ser reemplazados por los primeros aeroplanos modernos diseñados por George Carley en 1799, considerado como el padre de la aeronáutica moderna.(Anderson, 2008) Al paso del

tiempo, el estudio de la dinámica en las aeronaves llevaron al ser humano al desarrollo de las ecuaciones de movimiento, mismas que comenzaron a ser implementadas después de los primeros vuelos realizados por los hermanos Wright en 1903. (Napolitano, 2012) A partir de entonces, los estudios en el campo de la aeronáutica han pasado por varias etapas, desde vuelos experimentales hasta prácticas de laboratorio con túneles de viento con el objetivo de comprender mejor el

comportamiento de un cuerpo durante el vuelo. (Gilliland, 2008).

Los experimentos en los túneles de viento se han llevado a cabo para entender mejor los efectos del flujo de aire en el interior de una cámara de viento sobre objetos bajo condiciones térmicamente neutrales. (Chamorro et al., 2011). Un túnel de viento es un equipo utilizado para producir corrientes controladas de aire. (Enciclopedia Britanica, (s.f.)

Un perfil es un objeto, como una avioneta a escala, que es colocado dentro de una cámara en el túnel de viento para ser sometido a diferentes velocidades de aire y obtener resultados de su comportamiento (ver figura 1). Las pruebas aerodinámicas que se realizan en el túnel de viento sobre los perfiles ayudan a obtener mediciones sobre los patrones del flujo del aire que interactúan sobre ellos (Singh y Poddar, 2008).



Fig. 1. Perfil de una avioneta a escala

Algunas de las aplicaciones históricas de los túneles de viento se remontan a la década de 1970, cuando los ingenieros comenzaron con el desarrollo de controladores para acelerar el crecimiento de las corrientes de aire como fue el caso del túnel de Teunissen en 1975, el cual fue de los primeros túneles que desarrollaron

controladores activos y pasivos para producir las condiciones deseadas del flujo del aire. (Smith et al., 2012)

La carrera de Ingeniería en Aeronáutica en los últimos años ha sido considerada en las universidades debido al gran incremento que se espera en la industria que se enfoca en este campo laboral; de acuerdo a un pronóstico desarrollado, el número de nuevos aviones incrementará por más de 27,000 hasta el 2025 comparado con los incrementos del 2005. (Agarwal, 2010) La utilización de equipos como el túnel de viento ha comenzado a realizarse en algunas universidades a nivel mundial, como es el caso del Instituto de Aeronáutica y espacio (IAE) ubicado en São José dos Campos, Brasil (Marciotto y Fisch, 2013). En México, existen universidades que cuentan ya con túneles de viento en sus laboratorios como es el caso de la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL), el Instituto Politécnico Nacional (IPN) el cual cuenta con 4 túneles de viento para investigación y para prácticas en su laboratorio de aeronáutica (Instituto Politécnico Nacional, 2009). Actualmente, la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez cuenta en su oferta educativa con la carrera de Ingeniería en Aeronáutica, la cual cuenta con un laboratorio para realizar las prácticas relacionadas a las carreras de aeronáutica, Ingeniería Automotriz, Mecatrónica, entre otras; sin embargo, el equipo de laboratorio actual resulta ser aún mínimo para las necesidades de los docentes y alumnos, sin embargo uno de los equipos con los que cuenta el laboratorio de aeronáutica es el túnel de viento (figura 2).

La Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ) utiliza el túnel de viento como un medio por el cual los docentes tienen la posibilidad de facilitar el aprendizaje de los alumnos dentro del programa de Ingeniería en Aeronáutica. Cada equipo, herramienta y programa utilizados generan una mayor interacción de los alumnos con condiciones que estimulan la realidad, esto con el objetivo de prepararlos en su formación académica (Dolan et al., 2011).



Fig. 2. Túnel de viento AF 100.

El túnel de viento que posee la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez es un equipo de simulación capaz de generar velocidades de hasta 120 kilómetros por hora. Dentro de él se coloca un objeto llamado perfil que puede obtener inclinaciones dentro de los 360 grados realizando dicho ajuste en forma manual.

Este túnel de viento es un equipo austero, por lo cuenta con funciones que requieren ser ajustadas de manera manual, tal como el ángulo de ataque de los perfiles (figura 3); lo que genera un mayor tiempo en la preparación de las prácticas además que puede resultar inexacto por su naturaleza. El ángulo de ataque se define como el ángulo entre la parte central de las alas y la dirección del viento (Anderson y Eberhardt,

2010). El ajuste del ángulo de ataque del perfil se realiza con la ayuda de un transportador el cual indica la inclinación del perfil; a determinado ángulo de ataque y a determinada velocidad el objeto presenta un comportamiento diferente, útil para realizar análisis de determinadas situaciones con fines académicos.



Fig. 3. Cámara de viento, control manual del ángulo de ataque.

Se pretende eliminar el funcionamiento manual que presenta el ángulo de ataque y generar un mecanismo automatizado con un motor (figura 4) y un controlador lógico programable. A través de la implementación de un sistema automatizado que ayudará con un ajuste de los ángulos de ataque de los perfiles en el túnel de viento se pretende cumplir con los determinados objetivos, tanto generales como específicos que son presentados a continuación.

El objetivo general es reducir el tiempo de ajuste para la realización de prácticas en el equipo, automatizar el proceso y generar una mayor exactitud en los resultados obtenidos. Para disminuir el tiempo de ajuste del ángulo de ataque de los perfiles dentro de la cámara de viento y hacer más eficientes las prácticas y el

aprendizaje de los estudiantes de la carrera de Ingeniería Aeronáutica.



Figura 4 Ajuste de los ángulos de ataque de forma manual.

MÉTODOS

La presente investigación es con fines educativos buscando un mejor beneficio de los usuarios en la elaboración de las prácticas de laboratorio. En la actualidad la innovación educativa resulta no ser algo nuevo para las universidades y para sus docentes ya que cuenta con un buen nivel de aceptación; la implementación de tecnologías en computadoras y máquinas genera comodidad al momento de interactuar con los equipos y resulta más accesible para los alumnos durante el aprendizaje. Esto está relacionado con el incremento que la población ha tenido más acceso a la información electrónica a través del manejo de computadoras e internet; según una encuesta desarrollada por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) se informa que desde el 2001 y hasta el 2005 la cifra de personas mayores de 6 años que ya saben utilizar computadoras reporta un incremento de un

16.6% a un 28.5%, mientras que la población del mismo rango que ya utiliza internet presenta un incremento de un 7.9% a un 17.7%, esto en una escala de uno de cada cien habitantes a nivel nacional (INEGI, 2005).

Los pasos a seguir durante este proyecto se enlistan a continuación.

1. El primer paso es comprender el funcionamiento de la máquina, cual es el área que se pretende mejorar y como es que este mecanismo funciona de manera manual.
2. El segundo paso es el desarrollo de posibles soluciones. En este punto es cuando se comienza a diseñar la posible solución para el problema que se ha generado.
3. El tercer paso es el desarrollo del diseño. En este paso se determina el equipo a utilizar, el tipo de controlador, el motor que ha de generar el movimiento, entre otras opciones.
4. El cuarto paso es la arquitectura del sistema. Seleccionar el PLC a utilizar capaz de generar las entradas y salidas necesarias para el correcto funcionamiento del motor de pasos a contemplar; cabe resaltar que deberá de tener una conexión de corriente directa y estar interconectado con los demás componentes dentro del sistema.
5. El quinto paso es diseñar el diagrama de alambrado del equipo en donde se determina las conexiones que se utilizan, la ubicación entradas para los botones de presión que son los encargados de activar o desactivar el mecanismo.

6. El sexto paso es desarrollar la programación del equipo. Una vez terminado las conexiones mecánicas del equipo, la programación del equipo debe de ser la encargada de transmitir la información de funcionamiento del equipo por completo.

7. El Séptimo paso es instalar el equipo en la máquina del túnel de viento. A través de la fabricación de una base se debe de colocar los componentes del equipo de tal manera que el motor de pasos quede directamente instalado en la varilla del perfil que se encuentra dentro del túnel de viento.

8. El Octavo paso comparación de la operación de manera manual contra los datos de la operación automatizada, de esta manera la investigación debe de obtener el resultado de que el equipo automatizado es o no es más rápido y preciso que el proceso de ajuste manual de la máquina.

9. Finalmente, el noveno paso es tomar los datos obtenidos de las comparaciones y hacer una prueba de normalidad en donde se debe de obtener cuál de los procesos es más preciso y de esta manera dar solucionada la hipótesis planteada al inicio de la investigación.

RESULTADOS

De acuerdo a la metodología que se determinó, se comienza a construir el equipo en base a los requerimientos seleccionados. A continuación se presenta la manera en cómo se conectan los equipos y el funcionamiento que desarrollan para el desarrollo del equipo.

Arquitectura del sistema.

El controlador lógico programable PLC Micrologix 1000 (Ver figura 5) de la marca de Allen Bradley es el cerebro del mecanismo en donde se lleva a cabo el programa que enviará las ordenes a todos los componentes. Este será el encargado de hacer todos los cambios y directrices utilizando 2 entradas conectadas.



Fig. 5. PLC Micrologix 1000

Un motor de pasos (ver figura 6), es el encargado de controlar los movimientos del perfil. Posee un control bidireccional que permite al motor avanzar y retroceder dependiendo de la cantidad de grados que sean requeridos por el usuario; su control es manipulado por las conexiones existentes entre el sistema de PLC y los botones de presión además de la intercomunicación entre los otros dispositivos requeridos por el equipo.

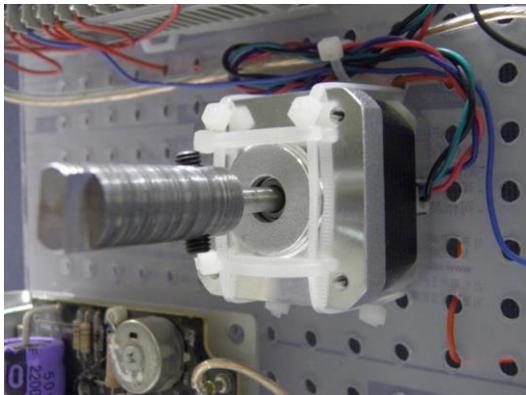


Fig. 6. Motor de pasos

El controlador o driver que se pretende utilizar para este diseño es un dispositivo DM420 de la marca ACT Motor (Ver figura 7) con un voltaje de 12 VDC a 36 VDC y se utiliza para motor de pasos que funcionan en ambas direcciones y con una corriente menor a 2.0 Amperes. Es el encargado de transferir las señales, esta alimentado a través de un relevador para generar el voltaje óptimo y que los enclaves sean a través del relevador y solo utilizando la señal de salida del PLC.



Fig. 7. Controlador DM420 para motor de pasos

La tarjeta de oscilación (ver figura 8), es una tarjeta que maneja voltajes en escala de potencia y su función principal es la de regular todas las pulsaciones y amplificar el voltaje de 5 voltios que está recibiendo y convertirlo a un voltaje de 24 voltios para con pulsaciones estar manteniendo las bobinas del motor de pasos (en sentido o contrario a las manecillas del reloj) y cuenta con un potenciómetro que es encargado de realizar el incremento o decremento de frecuencia para darle mayor amplitud o menor velocidad al motor de pasos. La tarjeta de oscilación funciona como una transmisión ya que controla la cantidad de frecuencia que se le envía al motor de pasos y amplifica el voltaje que tiene de entrada del controlador que le está enviando los 5 volts. Cuenta con un botón de paro y un botón de inversión de dirección para el control del equipo a las necesidades del usuario.

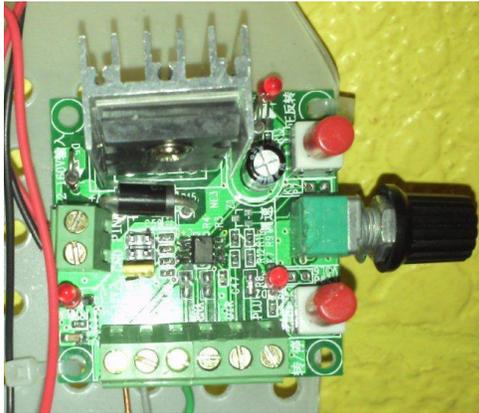


Fig. 8. Tarjeta de Oscilación del sistema

Diseño de diagrama de alambrado

El diagrama de alambrado del equipo tiene como objetivo identificar la

localización y conexión de los componentes de un sistema (ver figura 9). Al momento de presentar una falla por un cable mal colocado o una relación mal desarrollada, el diagrama de alambrado del mecanismo de control del motor de pasos para manipular los ángulos de ataque de los perfiles del túnel de viento proveerá de información al usuario para una rápida solución a los problemas que se presentan. Si bien el diagrama de alambrado no menciona como operan los mecanismos en el sistema, esto no minimizará la utilidad de esta herramienta en el manual de funcionamiento y manejo del sistema.

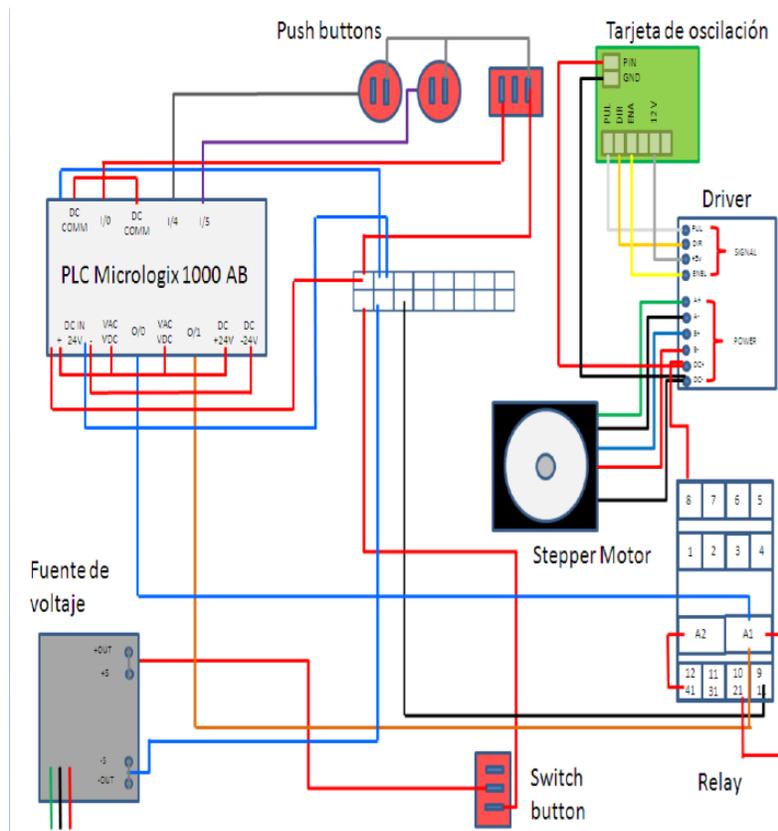


Fig. 9. Diagrama de alambrado del equipo de control del motor de pasos

Programación del equipo.

En este paso se desarrolla la programación por medio de la cual el sistema convierte las señales de entrada en pulsos de salida que se ejecutan de manera controlada para generar los resultados

esperados por el programador. La programación utilizada usando diagrama de escalera, ya que los controladores Micrologix de la marca Allen Bradley trabajan utilizando este tipo de programación. La figura 10 muestra un fragmento del programa realizado.

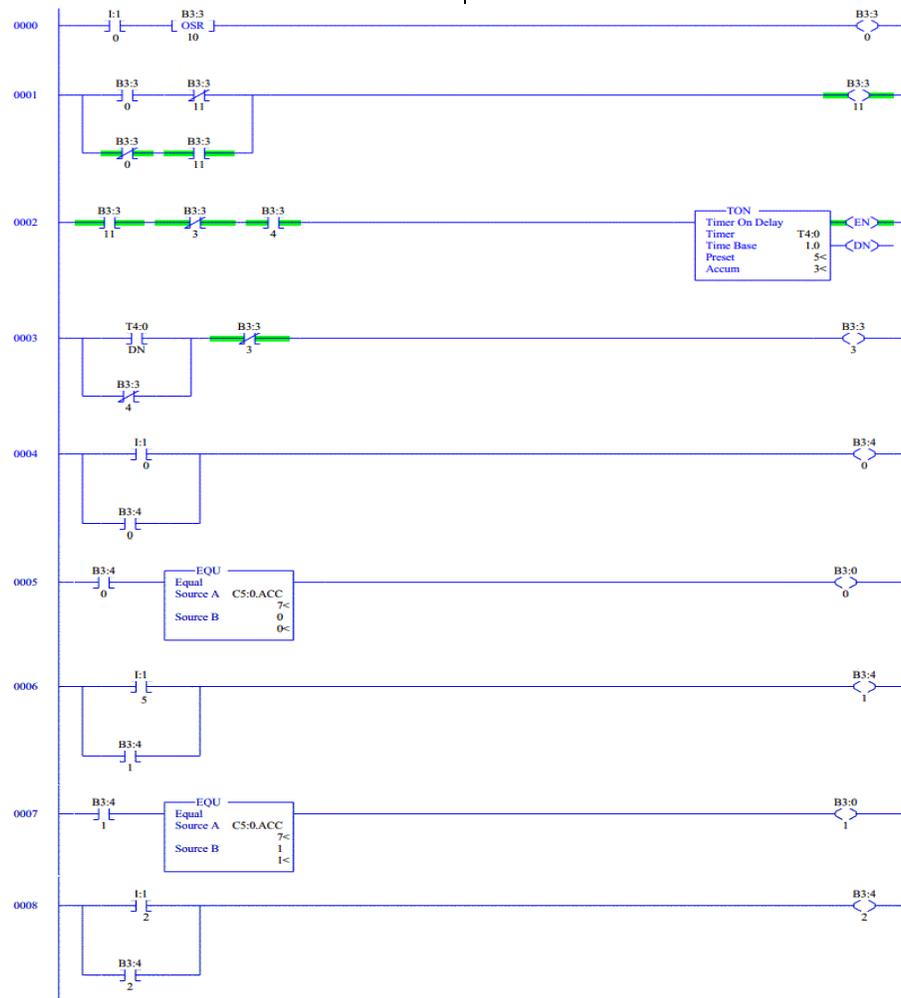


Figura 10 Programación del controlador lógico Micrologix

Comparación de operación del equipo.

El siguiente paso es la validación del equipo construido, para ello el equipo es instalado en la máquina del túnel de viento. Después de esto se ajusta la tarjeta de

oscilación para que a través del encendido del equipo la tarjeta envíe la cantidad de grados que el usuario requiera para que al momento de encender la palanca de movimiento constante, el motor de pasos

avance y se detenga en la posición solicitada.

Comparación de datos del proceso manual contra proceso automatizado.

Se toman datos del proceso manual del equipo con respecto al tiempo de ajuste que requiere el equipo y los grados de variación que se presentan al momento de revisar el equipo (ver tabla 1) para poder ser comparados con los datos que se obtuvieron

del mecanismo para controlar los ángulos de ataque en el túnel de viento (ver tabla 1). Las posiciones señaladas fueron elegidas de manera aleatoria, pero comparando los mismos grados en la operación manual que en la operación automatizada. Esto se realiza con el fin de determinar que después de colocar el equipo y revisar la precisión del mecanismo, el equipo sería capaz de superar en tiempo y en precisión el proceso de ajuste de un usuario a través de una operación manual (ver tabla 2).

Tabla 1 Análisis de datos de tiempo y precisión de usuarios con método manual para posicionar perfil en grados aleatorios.

No. de muestra	Grados	#1		#2		#3		#4		#5	
		tiempo	Diferencia								
1	13	12.44	1	14.9	0	13.53	1	18.76	3	14.91	0
2	46	11.25	0	15.5	1	12.11	2	15.83	2	13.67	0
3	26	10.18	1	14.47	2	13.35	2	14.24	2	13.06	0
4	42	10.72	2	16.75	2	13.27	1	14.67	2	13.85	1
5	49	9.03	2	16.09	2	12.16	1	13.26	2	12.64	1
6	18	13.38	0	14.78	1	13.19	0	11.59	1	13.25	0
7	2	11.52	1	13.59	0	14.94	0	12.08	2	9.64	2
8	20	9.4	1	13.25	1	11.01	1	12.95	1	11.65	1
9	15	8.4	1	17.75	2	13.16	1	9.27	1	12.15	1
10	37	11.38	1	16.12	0	12.54	1	12.39	2	13.11	2
11	47	13.03	4	19.44	1	13.65	1	11.56	2	12.54	2
12	28	12.15	0	14.12	1	14.07	1	13.16	1	13.38	0
13	8	10.41	0	15.28	0	11.93	1	13.67	2	12.82	1
14	40	9.15	1	11.4	0	13.04	1	12.05	1	11.41	1
15	23	9.56	0	17.72	0	12.84	0	13.44	2	13.39	2
16	317	18.88	1	28.5	0	16.92	2	15.88	2	16.16	3
17	332	9.21	2	16.81	0	12.4	2	13.41	2	12.96	1
18	333	10.72	1	14.53	0	9.56	2	11.22	1	11.51	1
19	351	8.06	1	14.75	2	10.38	2	11.5	1	11.17	1
20	338	10.15	1	15	2	11.01	2	13.54	0	12.43	1
21	311	15.56	1	14.25	1	9.83	0	13	1	13.16	0
22	359	10.03	0	13.69	0	10.1	1	13.65	1	11.87	0
23	329	9.22	0	15.12	1	12.16	1	13.08	0	12.40	0
24	340	8.09	1	12.97	2	12.87	1	11.87	0	11.45	0
25	321	10.72	1	12.81	1	12.08	1	13.76	1	12.43	1
26	339	8.12	0	12.09	1	13.16	2	11.62	0	13.26	2
27	342	10.84	1	15.28	1	14.83	2	12.35	1	13.33	1
28	325	8.81	1	14.84	1	12.47	1	10.42	1	11.64	1
29	321	9.41	0	15.47	1	13.55	1	13.16	1	10.25	0
30	354	8.97	0	12.15	2	14.05	0	12.81	1	12.00	0
PROMEDIO		10.63		15.31		12.67		13.01		12.58	

Tabla 2 Análisis de datos de tiempo y precisión del equipo automatizado posicionar perfil en grados aleatorios.

No. de muestra	Grados	#1		#2		#3	
		tiempo	Diferencia	tiempo	Diferencia	tiempo	Diferencia
1	13	6.56	2	4.11	1	5.34	1
2	46	8.12	0	13.66	0	8.87	1
3	26	5.33	1	3.81	1	4.57	1
4	42	5.91	1	5.15	0	5.53	1
5	49	6.22	0	4.88	0	5.55	0
6	18	5.01	0	4.89	0	4.95	2
7	2	4.37	1	6.72	1	5.55	2
8	20	5.59	1	4.89	0	5.24	0
9	15	3.98	2	3.5	1	3.74	0
10	37	6.17	0	4.36	0	5.27	0
11	47	9.19	1	7	1	8.26	0
12	28	4.83	0	8.11	1	6.47	0
13	8	3.38	1	2.66	0	6.25	1
14	40	6.11	0	4.42	2	5.27	0
15	23	4.58	1	4.88	1	4.73	1
16	317	11.62	1	6.26	2	8.94	1
17	332	8.72	1	7.79	0	8.26	1
18	333	8.45	1	5.48	1	6.97	0
19	351	4.37	1	6.63	2	5.50	0
20	338	5.56	0	4.84	1	5.20	0
21	311	8.28	0	9.58	0	8.93	1
22	359	3.01	2	4.93	1	3.97	3
23	329	6.58	0	11.25	2	8.92	1
24	340	4.16	1	6.93	0	5.55	1
25	321	5.31	1	7.48	2	6.40	2
26	339	5.42	0	4.41	1	6.33	2
27	342	8.47	2	6.84	1	7.66	1
28	325	5.22	2	5.5	0	7.31	1
29	321	4.74	2	7	0	5.87	0
30	354	8.33	2	4.4	0	6.37	1
PROMEDIO		6.05		6.08		6.26	

Tabla 3 Comparación de datos entre método de ajuste de equipo manual contra el método de ajuste de equipo automatizado.

No. de muestra	Grados	#1		#2		#3		#1		#2		#3	
		tiempo	Diferencia										
1	13	12.44	-1	13.53	1	14.91	0	6.56	2	4.11	-1	5.34	-1
2	46	11.25	0	12.11	-2	13.67	0	8.12	0	13.66	0	8.87	1
3	26	10.18	1	13.35	2	13.06	0	5.33	1	3.81	1	4.57	1
4	42	10.72	-2	13.27	1	13.85	1	5.91	1	5.15	0	5.53	1
5	49	9.03	2	12.16	-1	12.64	-1	6.22	0	4.88	0	5.55	0
6	18	13.38	0	13.19	0	13.25	0	5.01	0	4.89	0	4.95	2
7	2	11.52	-1	14.94	0	9.64	2	4.37	-1	6.72	-1	5.55	-2
8	20	9.4	1	11.01	1	11.65	1	5.59	1	4.89	0	5.24	0
9	15	8.4	1	13.16	-1	12.15	1	3.98	2	3.5	1	3.74	0
10	37	11.38	-1	12.54	1	13.11	-2	6.17	0	4.36	0	5.27	0
11	47	13.03	4	13.65	1	12.54	2	9.19	1	7	1	8.26	0
12	28	12.15	0	14.07	1	13.38	0	4.83	0	8.11	-1	6.47	0
13	8	10.41	0	11.93	1	12.82	-1	3.38	-1	2.66	0	6.25	-1
14	40	9.15	-1	13.04	1	11.41	1	6.11	0	4.42	2	5.27	0
15	23	9.56	0	12.84	0	13.39	2	4.58	1	4.88	1	4.73	1
16	317	18.88	1	16.92	-2	16.16	-3	11.62	1	6.26	2	8.94	1
17	332	9.21	2	12.4	2	12.96	1	8.72	1	7.79	0	8.26	1
18	333	10.72	1	9.56	2	11.51	1	8.45	1	5.48	-1	6.97	0
19	351	8.06	-1	10.38	-2	11.17	1	4.37	-1	6.63	2	5.50	0
20	338	10.15	-1	11.01	2	12.43	1	5.56	0	4.84	1	5.20	0
21	311	15.56	1	9.83	0	13.16	0	8.28	0	9.58	0	8.93	1
22	359	10.03	0	10.1	-1	11.87	0	3.01	-2	4.93	-1	3.97	-3
23	329	9.22	0	12.16	1	12.40	0	6.58	0	11.25	-2	8.92	1
24	340	8.09	-1	12.87	-1	11.45	0	4.16	1	6.93	0	5.55	1
25	321	10.72	1	12.08	1	12.43	1	5.31	1	7.48	2	6.40	-2
26	339	8.12	0	13.16	-2	13.26	-2	5.42	0	4.41	1	6.33	2
27	342	10.84	1	14.83	2	13.33	-1	8.47	2	6.84	-1	7.66	1
28	325	8.81	-1	12.47	1	11.64	-1	5.22	-2	5.5	0	7.31	1
29	321	9.41	0	13.55	-1	10.25	0	4.74	2	7	0	5.87	0
30	354	8.97	0	14.05	0	12.00	0	8.33	2	4.4	0	6.37	-1
PROMEDIO		10.63		12.67		12.58		6.05		6.08		6.26	

Al comparar los datos se obtiene la cual de ambos resulta ser mejor en lo que respecta a la velocidad de posicionamiento. En la figura 11 se puede observar el comparativo de los datos después de promediar todas las muestras generadas en cada uno de los casos presentados. Para el proceso manual se obtiene un promedio de 12.91 segundos de ajuste, mientras que para el proceso automatizado se obtiene un

promedio de 6.19 segundos, lo que significa un 53% de mejora en velocidad por parte del equipo.

Después se realiza una comparación de los datos de velocidad del proceso del proceso manual contra el proceso automatizado a través de un gráfico de caja (ver figura 12), en donde se determina cuál de los dos resulta ser el que tiene menos

variación al momento de realizar las practicas.

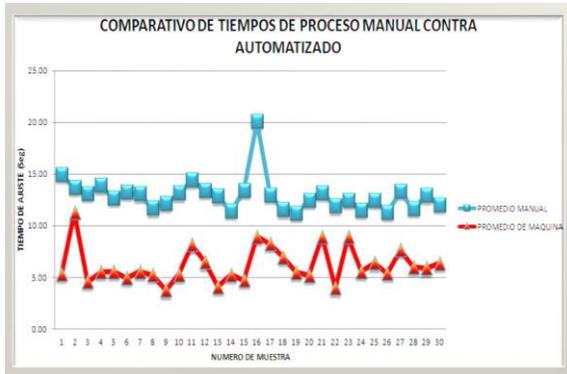


Fig. 11. Grafica de comparativo de tiempos de proceso manual contra proceso automatizado.

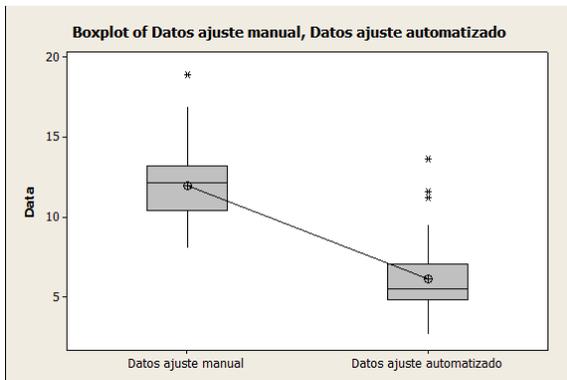


Figura 12 Comparativo de variación del proceso manual contra el proceso automatizado.

Finalmente para determinar cuál de los dos procesos tiene menor variación, se realiza una prueba de normalidad (ver figura 13 y 14) en donde se determina a través de los valores de Cp y Cpk cuál de los 2

procesos tiene un nivel de normalidad mejor. Aquí se puede observar que ambos procesos no logran entrar a los niveles de Cp mayores a 1.33 sin embargo el proceso automatizado resulta ser mayor en comparación con el proceso manual, además de que los valores de Cpk también son por encima del valor de 1. Con estos datos se puede concluir que el proceso automatizado requiere de más y mejor equipo para lograr una mejor precisión en los resultados, sin embargo este resulta ser mejor que el proceso de ajuste manual de los ángulos de ataque en el túnel de viento.

Análisis de resultados.

Después de analizar los datos obtenidos del método de ajuste manual contra el método de ajuste automatizado se determina que el equipo automatizado cumple satisfactoriamente con la mejora de la velocidad de posicionamiento de los perfiles en el túnel de viento. Al momento de evaluar la precisión del equipo se observa que la cantidad de variación entre el ajuste manual y el ajuste automatizado no tiene diferencia y que las 2 partes no pueden controlar el nivel de variación de los grados en el equipo. Los usuarios que utilicen el equipo tendrán una interacción con el equipo mejor, sin embargo deberán de continuar observando problemas de variación mínima de grados al momento de colocar la posición solicitada para una práctica o para un análisis del equipo.

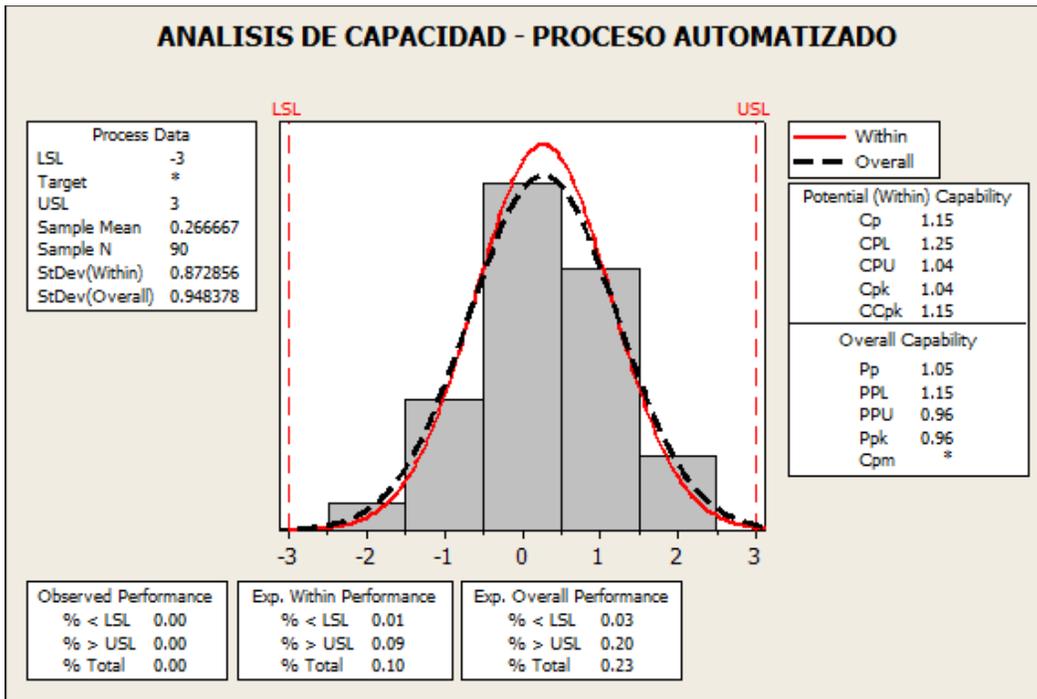


Fig. 13. Comparativo de variación del proceso automatizado.

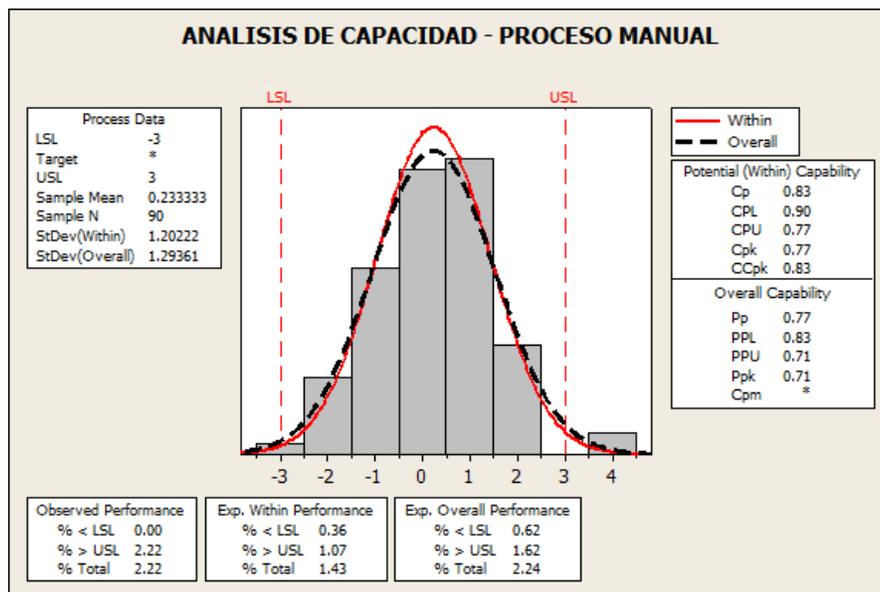


Fig. 14. Comparativo de variación del proceso manual

Evaluación de las hipótesis del proyecto

Después de terminar con la investigación se determina que es factible reducir el tiempo de ajuste de los ángulos de ataque de los perfiles utilizados para la realización de prácticas en el túnel de viento del laboratorio de aeronáutica, automatizar el proceso y generar una mayor exactitud a partir de la implementación de un mecanismo basado en servomotores y ajustes por controladores lógicos programables para ajustar los ángulos de ataque en los perfiles del túnel de viento.

CONCLUSIONES

La presente investigación logra cumplir con los objetivos planteados, sin embargo existe un campo de oportunidades de mejora que pueden ser explorados e implementados como es la opción de codificadores, pantallas táctiles, motores de paso de niveles de 0.9 grados para mayor precisión, servomotores, entre otros.

Después de finalizar la investigación, de desarrollar el equipo para el control de los ángulos de ataque, de realizar los diagramas de alambrado, el diagrama de escalera y realizar la validación del sistema y de analizar los datos que se obtuvieron durante la comparación entre el proceso de ajuste manual contra el proceso de ajuste automatizado se concluye que el tiempo de fabricación y el presupuesto requerido resultan ser grandes y que se requiere de un análisis detallado de compatibilidad de las partes para lograr el correcto funcionamiento de la unidad; el mínimo error en la compatibilidad de las partes o en las conexiones del sistema puede generar problemas en las necesidades del equipo.

Para futuras investigaciones se recomienda el uso de un codificador para lograr controlar de una manera más precisa los grados de avance del equipo ya que durante la presente investigación la falta de esta herramienta generó problemas de falta de ajuste, lo que conlleva a seguir teniendo variación en el sistema. De los motivos por los cuales no se utiliza el equipo en esta investigación es debido a que el costo del codificador estaba fuera del presupuesto y que no se tenía el tiempo suficiente para esperar a conseguirlo.

REFERENCES

- Agarwal, R. (2010). Aviation: Challenges and Opportunities. SAE International Journal of Aerospace.
- Anderson, D. F. Eberhardt, S. (2010). Understanding flight. United States of America: McGraw-Hill companies.
- Anderson, J. D. (2008). Introduction to flight (pp. 1-51). New York, United States of America: McGraw-Hill companies.
- Chamorro, Leonardo P., Porte-Agel, Fernando (2011). Turbulent Flow Inside and above a Wind Farm: A Wind-Tunnel Study. Energies, 4, 1916-1936.
- Dolan, D. S. Zepeda, D. Taufik, T. (2011). Development of Wind Tunnel for Laboratory Wind Turbine Testing. North American Power Symposium (NAPS).
- Enciclopedia Britanica. (s.f.). Acceso: 23 de Marzo del 2013.
- Gilliland, B. (2008). Test Flying the world's fastest airplane. Aerospace conference.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía INEGI 2005
- Instituto Politécnico Nacional – IPN (2009). Laboratorio de aeronáutica.
- Marciotto, E. R. Fisch G. (2013). Wind tunnel study of turbulent flow past and urban canyon model. Environ Fluid Mech, DOI 10.1007/s10652-013-9268-5.

Napolitano, M. R. (2012). Aircraft dynamics from modeling to simulation (pp. 1-36). United States of America: John Wiley & Sons, Inc.

Singh, C. Poddar K. (2008). Implementation of a LabVIEW-Based Automated Wind Tunnel Instrumentation System. India Conference.

Smith, J.T., Masters, F.J., Liu, Z., Reinhold, T.A. (2012). A simplified approach to simulate prescribed boundary layer flow conditions in a multiple controlled fan wind tunnel. Journal of wind engineering and industrial aerodynamics.