



**Wilmer
Herrera**¹
Ciencias de la Ingeniería
wherrera@unemi.edu.ec

Construcción a escala del Avión Noorduyn Norseman



**Fabian
Arreaga**¹
Ciencias de la Ingeniería
farreaga@unemi.edu.ec

Resumen

El aeromodelismo es una afición con un elevado componente científico y técnico cuya finalidad es diseñar, construir y hacer volar aviones a escala, buscando que el modelo sea lo más exacto posible del original. Para el semillero de investigación, la idea central es tomar estos artefactos voladores e implementarles un módulo basado en inteligencia artificial que controle el prototipo utilizando la Lógica difusa que se basa en lo observado, permitiendo desarrollar un aeromodelo autónomo y confiable capaz de responder a los distintos cambios en las variables del entorno.

Palabras clave: Prototipo, aeromodelismo, Noorduyn Norseman.

Abstract

The model airplanes are a hobby with a high scientific and technical component whose purpose is to design, build and fly airplanes, looking for the model to be as accurate as the original. For the hotbed of research, the central idea is to take these flying machines and implement an artificial intelligence-based module that controls the prototype using fuzzy logic based on the observed, thus allowing a reliable autonomous drone capable of responding to different changes in environmental variables.

Keywords: Prototype, model airplanes, Noorduyn Norseman



**Cristian
Guevara**¹
Ciencias de la Ingeniería
cguarap@unemi.edu.ec

Recibido: Agosto, 2011
Aceptado: Diciembre, 2011



INTRODUCCION

El aeromodelismo nace en el interés de construir prototipos a escala procurando elaborarlo lo más cercano al original, la complejidad que demanda el proceso de construcción, y la implicación de principios físicos que en él actúan, hacen que emprender la empresa de fabricar y hacer volar un aeromodelo sea todo un reto.

El propósito del artículo es presentar la manera cómo se construyó una réplica a escala del avión Noorduyn Norseman, a radio control mediante la aplicación de los conocimientos adquiridos en la carrera de Ingeniería Industrial, y plantear una propuesta para desarrollar futuras aplicaciones en el campo de vuelos no tripulados.

ANTECEDENTES

En los inicios del aeromodelismo, los aviones fueron aparatos de difícil vuelo que con el tiempo se fueron simplificando y tecnificando, los aparatos cumplían muy pocas funciones cuyos circuitos y válvulas eran bastante inseguros. En la Figura 1 se muestra la evolución histórica de la construcción de aviones a escala manipulados por radio control.

En los años de 1930 y 1942, todo el aeromodelismo se basaba, aparte de las maquetas estáticas o de exposición, en el vuelo libre, ya que, aunque se hicieron intentos de radio control, éste fue muy rudimentario.

Los primeros radio controles se diseñaron con válvulas electrónicas y unos botones con los cuales se dirigía el avión, mediante diversas pulsaciones. El emisor transmitía las ondas de radio, las cuales se recibían en un receptor a bordo del avión. El receptor las transformaba y enviaba impulsos

eléctricos a unos dispositivos electromecánicos que eran los que movían los mandos del avión. No obstante, la imperfección, su gran tamaño, su peso, y su alto número de fallos, hacían que solo unos pocos utilicen este sistema.

La aparición de los transistores supuso una revolución en la difusión del radiocontrol, con la miniaturización de los equipos, cada vez más perfectos y económicos. Hoy en día cualquier equipo de Radio Control cuenta con un microprocesador interno y un software avanzado, el cual permite programar y recordar los distintos parámetros de diversos modelos, haciendo el vuelo más sencillo y seguro.

Dentro de la lista de aviones que pueden ser replicados a escala (debido a la disponibilidad de los planos respectivos), se encuentra el Noorduyn Norseman, cuyo constructor fue Don Robert B.C. Noorduyn, nacido en Holanda, el año de 1893; estudió ingeniería en Holanda y Alemania; viajó a Inglaterra donde aprendió a volar.

La Fokker lo envió a trabajar a los EEUU en 1921, donde diseñó algunos aviones que se vendieron en Canadá principalmente para la exploración, en 1932 lo emplearon en Pitcairn.

En 1934 decidió producir un avión para el mercado canadiense en donde pudiera volcar toda la experiencia adquirida en sus anteriores trabajos y que cualquier operador canadiense con la experiencia, el equipamiento y la infraestructura de que ya disponían pudiera hacer dinero rápidamente, es así que piensa en un monoplano de ala alta, monomotor para facilitar el ascenso y descenso de pasajeros.

El primer Norseman voló el 14 de noviembre de 1935,

se vendieron un total de 903 aviones tanto a particulares como a las fuerzas armadas de Canadá y EEUU.

En la página <http://noorduyn.server265.com/index.htm> que está escrita por un familiar de Noorduyn, se encuentran las especificaciones del avión, un dato curioso es que también se especifica el perfil alar que en este caso NACA 2414, la incidencia del ala +3° y su diedro 2.5°; tal información no suelen proporcionarla al público.

FUNDAMENTACION

Para analizar al aeromodelo, se destacan dos clases de componentes que hacen posible la estabilidad y comportamiento del mismo en el aire: la estructura física y el sistema electrónico.

a. Estructura física:

El avión está conformado por los siguientes elementos:

a.1. Centro de gravedad (CG)

El centro de gravedad es muy importante en el aeromodelo, ya que es el punto donde se balancea el avión en el aire, se lo localiza en el 33% de la superficie alar, es decir partiendo de distancias equidistantes desde el inicio de cada ala, ahora se calcula el 33% del ancho del ala, tomando como referencia o punto de medición el borde de ataque, luego de esto se procede a colocar un dedo en cada punto del C.G. de las alas, se observa que a aeronave esta perfectamente equilibrada es decir completamente horizontal, está en equilibrio, pero si la cola se dirige hacia abajo (está pesada), el avión no está equilibrado y por ende es imposible volar pues la trompa siempre va a estar inclinada hacia arriba,

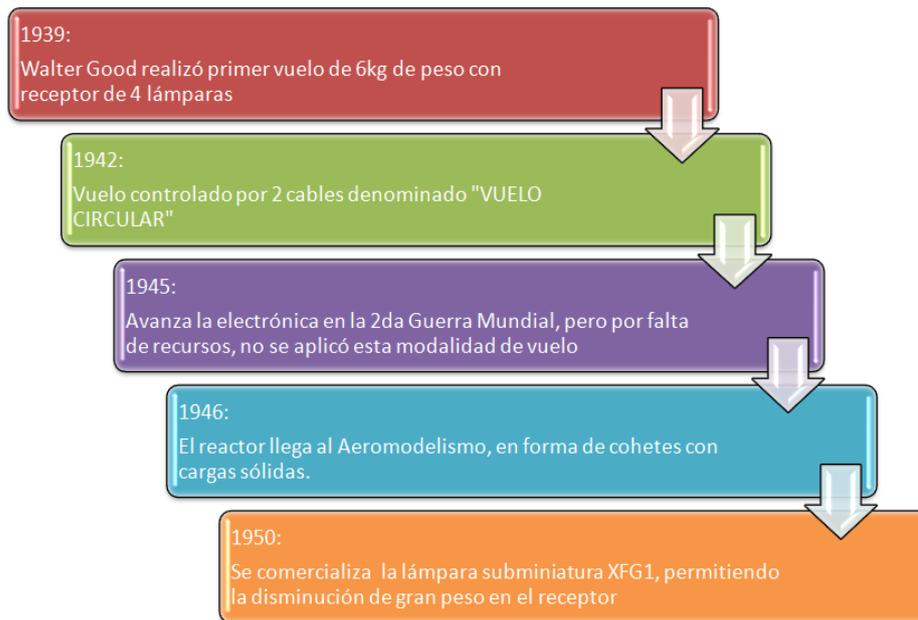


Figura 1. Evolución histórica de la construcción de aviones a escala manipulados por radio control.

y no podrá ejercer el vuelo adecuadamente y posiblemente existirá un choque. Ahora bien si el avión tiende a inclinarse hacia abajo en la trompa, es mucho mejor que cuando la cola está pesada, ya que produce más estabilidad en el avión y es posible maniobrarlo, ahora para el caso de la cola pesada, se corrige el centro de gravedad moviendo los electrónicos, pero sería mucho mejor mover sólo las baterías, (ya que son las más pesadas en el aeromodelo) y colocarlas en la posición correcta hasta que quede completamente balanceado.

El avión realiza todos sus movimientos pivotando sobre el centro de gravedad, su situación del centro de gravedad respecto al centro de presiones tiene una importancia enorme en la estabilidad y control del avión.

a.2. Diseño del perfil más favorable de alas

En los túneles aerodinámicos se ensaya la obtención de perfiles que muestren la

máximadiferencia entre la velocidad del aire en la cara superior y en la inferior, y la práctica ha demostrado que la forma más adecuada es la de alas: Convexas en la parte superior y redondeada por delante.

La distribución de presiones depende de la forma, de la velocidad y del ángulo de ataque, que es el ángulo que forma la dirección del movimiento con la recta tangente al borde inferior del ala.

a.3. Principio de sustentación

En ensayos experimentales en túneles se ha encontrado que el valor de la fuerza sustentadora (F_s) está dada por la siguiente fórmula:

$$F_s = C_s \rho S v^2$$

C_s = Coeficiente de Sustentación.

ρ = Peso específico del aire medido en kg/m^3

S = Superficie del ala medida en metros cuadrados.

v = Velocidad medida en me-

tros por segundo.

a.4. Resistencia al avance

El avión debe vencer una resistencia al avance provocada por 3 diferentes factores:

- *Resistencia de Viscosidad* o de *rozamiento*, debido al rozamiento con el aire. Para disminuir en lo posible, se pule la superficie del avión, y especialmente en las alas.
- *Resistencia de perfil*. El mejor perfil es el espectro laminar, pero con todos se observan pequeños torbellinos, que producen un cierto frenamiento.
- *Resistencia Inducida*. Es el factor más importante de los tres. Su existencia es inevitable, pues está originada por la fuerza sustentadora: el aire que pasa por encima del ala tiene mayor velocidad que el que pasa por debajo, y por eso tiene éste mayor presión. Al llegar al borde posterior del ala, el aire que pasó por debajo del ala sube, y al encontrarse con el de arriba forma torbellinos

que se oponen al avance.

Valor de la resistencia:
La siguiente fórmula se obtuvo en los túneles de ensayo:

$$R_a = C_r \rho S v^2$$

C_r = Coeficiente de Resistencia al avance

ρ = Peso específico del aire medido en kg/m^3

S = Superficie del ala medida en metros cuadrados.

v = Velocidad medida en metros por segundo.

a.5. Fuerza impulsora

Debido a su perfil, semejante al de un ala, en la hélice en movimiento aparece una fuerza (del mismo origen que la sustentadora, pero dirigida hacia adelante), llamada fuerza impulsora, que es la que hace avanzar al avión. La tracción de la hélice aumenta con la velocidad. La construcción de hélices es un problema muy delicado, pues éstas deben soportar enormes fuerzas centrífugas y han de tener sus paletas exactamente equilibradas, con el fin de no someter al eje a esfuerzos perjudiciales.

a.6. Estabilidad longitudinal

Uno de los más grandes problemas de los pilotos novatos va implicado directamente en el control del modelo (movimientos muy bruscos que hacen incontrolables a los modelos). Los modelos que proporcionan mucha estabilidad ofrecen mejores oportunidades a los aeromodelistas. Algunos factores deberán ser incluidos en los modelos para incrementar la estabilidad, estos son:

- El ala ubicada en la parte superior del modelo.
- Mayor diedro.
- Relación del tamaño del ala y fuselaje.



Figura 2. Modelo de alas.

Como se puede observar en la imagen, el ala del modelo está ubicada en la parte superior que representa la primera condición importante en un modelo para novatos existen modelos muy acrobáticos que tienen su ala en la parte superior. El segundo aspecto denominado diedro es traducido como el ángulo que tiene el ala con respecto a horizontal. Para que se entienda, el primer modelo tiene cero grados de diedro en el ala, observe que el ala está totalmente horizontal. El Segundo modelo de la figura tiene 10 grados de diedro en el ala, observe que el ala no está completamente horizontal. Es importante destacar que el ángulo del diedro tiene un límite máximo para cada modelo especialmente, si es superado este límite, entonces el modelo más bien se vuelve inestable.

No podrá escoger modelos que tengan el ala en el medio del fuselaje y en la parte inferior del fuselaje y también sabes que contenga un cierto ángulo de diedro, tendrá mayor ESTABILIDAD que otro que carezca de el. Para la fecha agosto 2001 existen modelos que tienen su ángulo diedro establecido previamente desde la fábrica; quiere decir que posiblemente no se podrá modificar este ángulo. Los 2 .

a.7. Materiales

El aeromodelo esta cons-

truido a base de madera de Balsa de diferentes espesores (1mm, 2mm, 3mm, 5mm, 6mm, 12mm, 17mm) madera de ontrachapado de 3mm de espesor, madera de Laurel de 10x6mm.

Para pegar estos tipos de madera no se lo realiza con cualquier pegamento, sino con uno especial denominado Epoxi que es específicamente para el aeromodelismo, vienen con un tiempo de secado de 5, 15, 30, 60 minutos, dependiendo del aeromodelista constructor.

El tren de aterrizaje esta compuesto por 2 ruedas de 30mm de diámetro y una rueda trasera de 15mm de diámetro, el tren está ajustado según el plano del Aeromodelo.

Posee los mandos Internos, lo cual embellece mucho más la Fachada del Prototipo.

a.8. Motor OS 56 4T (japónés)

Es la mejor marca en cuanto a motor de Explosión pueda existir en el mundo del Aeromodelismo.

Éste es el primer modelo de la nueva serie de FS& de la válvula en la culata monocilíndrica de cuatro tiempos. Sus características:

Bien definida, moderna y un poder amplio en una colección variada de tipos.

- Consta de un silenciador que minimiza el ruido, con diseño y tamaño de tubería roscada de salto de

cabeza permite ajuste a lo lejos entre silenciador y cabezote.

- Bujía OS de tipo F de cuatro tiempos.
- Filtro.
- Manguera de 5mm de Silicona.

Para encender el motor es necesario baterías de 1.5 V; y tiene las siguientes especificaciones:

- Cilindrada: 9.32cc/0.56 in
- Aceleración: 24.0mm/0.945in
- Frenada: 20.6mm/0.811in
- R.P.M: 2400-1300 R.P.M.
- Peso: 419g/14.8 oz

El tipo de combustible que usa este potente motor es uno compuesto de Metanol y 10% de Nitro metano para aumentar eficazmente su rendimiento.

Con un tanque de 14 oz tiene una capacidad de vuelo de aproximadamente 15 minutos.

b. Sistemas electrónicos

b.1. Servo motores

Comúnmente llamados servos. Se encargan de producir fuerza mecánica, para mover los distintos sistemas del avión. Suelen ser de pequeño tamaño, pero pueden ejercer una gran fuerza (el estándar sobre los 3,5 kg/cm). Se componen de un pequeño motor, con sus rodamientos, y un sensor para saber la posición del servo. Podemos encontrar desde los micro servos con un peso menor a los 3 gramos pero que ejercen casi un kilo de fuerza hasta grandes servos que pueden ejercer una fuerza de 25 kg/cm. Suelen trabajar con tensiones entre 4.8 y 6 V, y se pueden encontrar en versión analógica o digital, siendo los últimos generalmente mas

rápidos y precisos (se utiliza para el control de deriva en los helicópteros); su uso se está extendiendo con rapidez.

El aeromodelo está compuesto por 7 servos motores:

- Uno para Acelerador
- Dos para Alerones
- Dos para Flap (Aero frenos)
- Uno para Timón Vertical
- Uno para Timón Horizontal.

b.2. Radio control FUTABA

Los modelos radio controlados (RC) usan una emisora o radio manejada desde tierra por el piloto, y un receptor dentro de la aeronave que controla una serie de servos que transmiten (mediante un mecanismo de varillas o similar) movimiento a las distintas superficies de control del aeromodelo como pueden ser los alerones, flaps, aerofrenos, timón, profundidad, los ángulos de *guiñada*, el *cabeceo* y el *alabeo*; de esta manera se controla su vuelo. En los modelos dotados con motor, si se trata de un motor de explosión, otro servo controla el acelerador, si se trata de un motor eléctrico se hace uso de un variador dando más o menos velocidad al motor. Se pueden colocar tantos servos en el avión como el tamaño del modelo y la capacidad de la emisora de radio lo permita. Existen radios con capacidad desde los 2 canales hasta los 14, con igual o mayor número de servos. Se utilizan para un mayor número de operaciones dentro del avión, como ajuste de flaps, recogida y bajada del tren de aterrizaje retráctil, expulsión de humo en el avión, luces, etc.

b.3. Receptor FUTABA

Es un pequeño aparato alojado en el avión que se encarga de decodificar las señales

que recibe del radiomando y convertirla en impulsos eléctricos que harán mover los correspondientes servos. Para recibir la señal correspondiente debe tener instalado (al igual que la emisora) un cristal de cuarzo, que define la frecuencia de trabajo. Es necesario que tanto el radiomando como el receptor trabajen en la misma frecuencia y en el mismo sistema de emisión, ya sea ppm (fm) o pcm.

b.4. Emisora FUTABA

Aeromodelo consta de una Emisora Futaba de 2.4GHz, de 6 canales con un alcance de 3km de radio.

La distribución de canales es la siguiente:

- Canal 1: ALERONES
- Canal 2: TIMÓN HORIZONTAL.
- Canal 3: ACELERADOR.
- Canal 4: TIMÓN VERTICAL.
- Canal 5: LIBRE
- Canal 6: FLAPS

LEYES FÍSICAS A TOMAR EN CUENTA

Presión atmosférica

La presión atmosférica es la intensidad de fuerza aplicada por unidad de superficie. Según la definición es la fuerza ejercida por el aire, en cualquier punto de la atmósfera. La presión atmosférica en un punto representa el peso de una columna de aire de sección recta unitaria que se extiende desde ese punto hasta el límite superior de la atmósfera. La altura de esta columna y el peso que contiene, dependerá del lugar en donde nos encontremos. A nivel del mar, la columna que tendremos encima es mayor que la que tendríamos en la cima del Chimborazo. Entonces la presión decrece con la altura y es así que se afirma "a mayor altura,

menor presión". La magnitud de decrecimiento es de aproximadamente 1 milibar por cada 9 metros de altura o una pulgada por cada 1000 pies aproximadamente.

Debido a esta propiedad, los aviones que vuelan por encima de una altitud determinada, deben estar provistos de sistemas de pressurización en la cabina de pasajeros.

Efecto Venturi

El aire fluyendo a velocidades usuales en aerodelismo es constante en su densidad. Presión y velocidad son las únicas variables. Si una aumenta, la otra disminuye en todas las circunstancias. Una muy difundida aplicación de este principio es el Tubo Venturi, usado en aviación para medir la velocidad del aire o propulsar instrumentos, otra aplicación en la que se emplea la que todos los días producir un chorro de alta velocidad en las mangueras del jardín. Un fluido atravesando un tubo constreñido no contiene zonas no ocupadas por el mismo. En una unidad determinada de tiempo, la masa del fluido que sale del tubo debe ser igual a la masa que entra. En la parte constreñida del tubo, dado que la sección es más pequeña, la velocidad del fluido debe incrementarse para lograr que la masa pase al otro lado en el tiempo disponible. Este incremento de velocidad, de acuerdo al teorema de Bernoulli, produce una reducción de la presión en la garganta del tubo.

Tercera Ley de Movimiento de Newton

Para cada fuerza de acción hay una fuerza de reacción igual en intensidad pero de sentido contrario.

En aerodinámica, al disponer de un objeto plano,

colocado un poco inclinado hacia arriba contra el viento, produce sustentación; por ejemplo una cometa. Un perfil aerodinámico, es un cuerpo que tiene un diseño determinado para aprovechar al máximo las fuerzas que se originan por la variación de velocidad y presión cuando este perfil se sitúa en una corriente de aire. Un ala es un ejemplo de diseño avanzado de perfil aerodinámico.

Ahora tomando en cuenta un aerodelo dotado de perfiles aerodinámicos y que se encuentre en vuelo a cierta velocidad y presión, presentara una acción producida por el flujo de aire en proporción a su ángulo de ataque, en donde de acuerdo a las leyes explicadas la superficie superior del ala soporta menos presión que la superficie inferior. Esta diferencia de presiones produce una fuerza aerodinámica que empuja al ala de la zona de mayor presión (abajo) a la zona de menor presión (arriba), conforme a la tercera ley del movimiento de Newton. Pero además, la corriente de aire que fluye a mayor velocidad por encima del ala, al confluir con la que fluye por debajo deflacta a esta última hacia abajo, produciéndose una fuerza de reacción adicional hacia arriba. La suma de estas dos fuerzas es lo que se conoce como fuerza de sustentación, que es la que mantiene al avión en el aire.

PASOS EN LA CONSTRUCCION DEL AERODELELO

El proyecto se lo realizó observando los fenómenos físicos que actúan sobre el avión

1. Adquirir los planos

Los planos se los puede adquirir de distintas Tiendas de aerodelismo por un pago previo de dinero.

En este caso los planos se los obtuvo través de un Aerodelista Profesional de Argentina contactado por correo electrónico, quien amablemente los envió por el email.

Luego de adquirir los planos, se los convierte en formato Auto Cad, para posterior su impresión a la escala adecuada que es 1:72.

Es la escala mas adecuada para el realismo que desea darle al prototipo.

2. Copiar los planos a la madera de balsa.

Este paso es uno de los más importantes, ya que de ello depende la correcta elaboración de la aeronave. La madera de balsa esta disponible en el mercado en tableros (laminas rectangulares)

3. Recortar las partes del aerodelo.

Ahora bien ayudados de un estilete, recortamos cada parte indicada en los planos para el correcto ensamble y ubicación.

4. Pegar las dos mitades

El ensamble del aerodelo se lo realiza en dos mitades, debido a que los listones, son un poco arqueados.

5. Construcción timón vertical y horizontal.

Se lo realiza por separado, primero el Timón vertical según disposición del plano, luego el timón Horizontal; por último con una escuadra se ensamblan ambas partes, tiene que quedar a 90° entre el Horizontal y vertical.

6. Construcción de alas

Para la construcción de las alas, se toma cuenta que debe existir una total rectitud entre largueros de

CARACTERÍSTICAS	DESCRIPCIÓN
Envergadura	1.8m
Longitud	1.00m
Masa	2.5 Kg
Motor	OS 56 4T
Cantidad de Servos	7
Tipo de Combustible	Metanol con 10% de Nitro
Tiempo de Vuelo	15 minutos
Potencia de Radio Control	3 Km de Radio
Tren de Aterrizaje	Normal
Capacidad del Tanque de Combustible	14 oz

Tabla 1. Componentes del avión a escala.

- balsa y laurel, y proceder a colocar las cuadermas en cada ala con sumo cuidado.
7. Ensamblaje de alas al fuselaje
Es la operación de mayor importancia en la construcción del avión, debido al correcto ajuste del ángulo de diedro, y de la correcta precisión en ambas alas.
8. Colocación de timones
Una vez colocadas las alas se procede a la colocación de los timones; este es el orden que se debe realizar debido a que deben llevar la misma rectitud es decir estar sincronizado entre Ala-Timón, para el correcto vuelo del Aeromodelo.
9. Colocación de servo motores
La colocación de los servos motores están distribuidas correctamente en

- los planos.
10. Ubicación de motor.
El motor es colocado en la trompa de la Aeronave nesecita una bancada específicamente para nuestro avión que debe estar nivelada correctamente.
11. Forrar el aeromodelo
Para forrar el prototipo se utiliza Vinil acrílico en colores Rojo, Gris, Negro, Azul.

RESULTADOS OBTENIDOS

Se construyó un avión de características que se muestran en la Tabla 1

CONCLUSIONES:

- El aeromodelismo es una actividad científica recreativa y/o deportiva, requiere una normatividad que considere las pautas necesarias para minimizar el riesgo de daños a personas u objetos, en un

- ambiente en donde todos respete las normas de seguridad.
- Para futuros trabajos es posible implementar en el Aeromodelo un sistema de cámara capaz de capturar imágenes, videos de alta resolución y observarlos en vivo desde Tierra a través de un computador, con el fin de realizar trabajos espías para operaciones militares u otras.
 - Se puede pensar también en dotar al prototipo de un sistema de circuito de “VUELO AUTOMÁTICO”, en el cual pueda equilibrar al avión durante el vuelo, realizar maniobras y giros: proyecto denominado “ROBOTPLANE”.

AGRADECIMIENTO

Se expresa un agradecimiento especial al profesor Miguel Ángel Reinoso por su apoyo en la construcción del avión a escala.

Referencias Bibliográficas

P.ROBINS, Stephen./ COMPOR-TAMIENTOORGANIZACIONAL/ 7TM Edición. / Prentice-Hall. / Hispanoamericana S.A. / México. /1996.

PINCHES M.J. / POWER HYDRAULICS. / Prentice Hall /1989.

SERWAY - BEICHER / FISICA para ciencias e ingeniería. / 5te. Edición McGRAW-HILL / Interamericana editorial Ultra S.A. de C.V. / Mexico / Septiembre 2001.

SULLIVAN, Michael. / ALGEBRA Y TRIGONOMETRIA. / 7ma. Edición. / Pearson- Educación. / México. / 2006.

FERNANDEZ LARRANAGA BONIFACIO / INTRODUCCION A LA MECANICA DE FLUIDOS. FAYA. JAMES / MECANICA DE FLUIDOSEditorial CECSA/Cuarta EditionMexico 1995 FAYA. JAMES /ELEMENTOS DE MECANICA DE FLUIDOS.