

OBJETIVO PRINCIPAL.

Desarrollar un modelo fenomenológico completo de una central micro-hidráulica de laboratorio, y proponer una estrategia de control predictivo no-lineal para regular la tensión y la frecuencia del sistema ante variaciones de carga, asegurando una respuesta dinámica óptima del sistema.

OBJETIVO ESPECIFICO.

La tesis tiene como objetivo específico desarrollar y validar un modelo matemático que represente el comportamiento hidráulico y electromecánico de una central micro-hidráulica de laboratorio, con el fin de implementar un sistema de control predictivo no lineal que permita regular la tensión y la frecuencia del generador ante variaciones de carga, integrando tanto el modelamiento teórico como la validación experimental de los resultados obtenidos.

HALLAZGOS:

Hallazgo 1 - Comportamiento transitorio del circuito hidráulico (golpe de ariete)

En la sección 3.1 “Circuito hidráulico” (páginas 44–49), el autor compara las respuestas de la planta experimental con una central micro-hidráulica real y menciona que “la planta experimental no reproduce el comportamiento transitorio del agua, determinado por el acoplamiento dinámico de la presión y el caudal, y que ante el cierre brusco de la válvula genera una sobrepresión en la admisión de la turbina, conocida como golpe de ariete inelástico.”

Este análisis describe un fenómeno claramente transitorio y no lineal, por lo que **se podría aplicar métodos numéricos de simulación (por ejemplo, el método de las características o diferencias finitas)** para modelar la propagación de ondas de presión y cuantificar con mayor precisión el efecto del golpe de ariete.

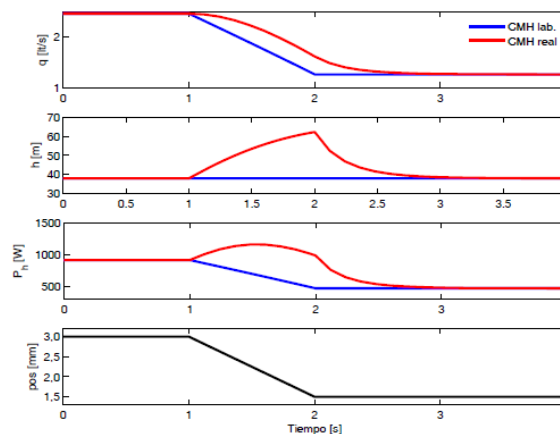


Figura 3.6: Respuesta ante escalón de posición de referencia, de los circuitos hidráulicos de la planta de pruebas y de una CMH real

De la Figura 3.6 se puede observar que el comportamiento en régimen permanente de ambos modelos es el mismo. Sin embargo, se observa que la planta experimental no reproduce el comportamiento transitorio del agua, determinado por la acoplamiento dinámico de la presión y el caudal, y que ante el cierre brusco de la válvula genera una sobrepresión en la admisión de

Hallazgo 2 - Determinación empírica de parámetros del modelo

En la sección 3.6 “Cálculo de Parámetros” (página 69), el autor presenta la Tabla 3.2, donde se listan los valores de parámetros físicos y eléctricos del modelo (coeficientes de pérdidas, resistencias, inductancias, etc.). En este punto, se indica que **“algunas pérdidas en la turbina y pérdidas adicionales no se pueden calcular dado que se desconocen los parámetros que las determinan.”**

Este vacío abre la **posibilidad de aplicar métodos numéricos de optimización y ajuste de parámetros, como el método de Levenberg–Marquardt o gradiente conjugado**, para estimar los valores faltantes a partir de los datos experimentales de presión, caudal y potencia.

Tabla 3.2: Parámetros del modelo dinámico de la planta de pruebas

Parámetro	Valor
g : aceleración de gravedad, m/s^2	9,8
ρ : densidad del agua, Kg/m^3	1.000
H : altura hidráulica neta, m	38
p_f : número de polos del generador	4
V_{cc} : tensión continua de entrada a chopper, V	35
vel : velocidad stepper válvula, mm/s	1,5
L_d : inductancia de eje directo (saturada), H	0,163
L_q : inductancia de eje en cuadratura, H	0,18
R_a : resistencia de armadura, Ω	3,87
L_{fd} : inductancia de campo, H	0,5
R_{fd} : resistencia de campo, Ω	7,17
$L_{afd_{sat}}$: inductancia mutua saturada, H	0,0941
ψ_{afd_0} : enlace de flujo fijo, $W \cdot vueltas$	0,745
c_0 : coeficiente de pérdida turbina	285,2
c_1 : coeficiente de pérdida turbina	-1,717e4
c_2 : coeficiente de pérdida turbina	1,277e7
k_0 : coeficiente de pérdida fricción	0,602
k_1 : coeficiente de pérdida fricción	4,66e-3
k_{Fe} : factor de pérdida en el núcleo	0,7571
β : exponente de pérdida en el núcleo	0,7725
J : momento de inercia, $Kg \cdot m^2$	0,0588

La Figura 3.14 muestra un esquema del balance energético de la planta de pruebas. Algunas de las potencias son, o bien medibles, o bien calculables conociendo los parámetros de las categorías 1 y 2. La potencia hidráulica se puede conocer a partir de la posición de la válvula. La potencia eléctrica (carga) se puede medir directamente con un *wátmetro* trifásico. Las pérdidas eléctricas se entienden como las pérdidas óhmicas en la armadura del generador sincrónico, las cuales se pueden calcular a partir de las corrientes de armadura medidas con un *ampérmetro*, y conociendo la resistencia R_a . La potencia mecánica no se puede medir puesto que no se cuenta con un dinamómetro. **Las pérdidas en la turbina y pérdidas adicionales, no se pueden calcular dado que se desconocen los parámetros que las determinan.**

Hallazgo 3 - Formulación del problema de control predictivo

En la sección 4.2 “Modelo de Predicción y Problema de Optimización” (páginas 95–103), el documento detalla la formulación del Control Predictivo No Lineal (NMPC), donde se busca minimizar una función de costo sujeta a restricciones dinámicas del sistema hidráulico.

Este proceso implica resolver iterativamente un problema matemático complejo; por tanto, es un escenario ideal para **aplicar métodos numéricos de optimización no lineal (como Sequential Quadratic Programming – SQP o método del gradiente reducido)**, además de técnicas de diferenciación numérica para calcular las matrices Jacobianas en el Filtro Extendido de Kalman que acompaña al controlador.

5.3. Resultados de las Pruebas de Control

Para probar la estrategia de **Control Predictivo No-lineal (NMPC)** propuesta en el Capítulo 4, se realizaron pruebas en que se somete al control de tensión y frecuencia a las condiciones más demandantes dinámicamente que enfrentaría cuando una CMH opera en isla, esto es, cuando se enfrenta a un cambio brusco y de gran magnitud en la carga eléctrica. Estas pruebas experimentales consistieron en conectar y desconectar discretamente cargas por medio de un interruptor, cuando la CMH de laboratorio está operando inicialmente régimen permanente y gobernada por el control propuesto. Se mantienen siempre los supuestos hechos en el Capítulo 3 para la modelación de la CMH, esto es, carga trifásica resistiva, simétrica y equilibrada. Estas pruebas se realizaron en distintos puntos de operación iniciales y para distintas magnitudes de la toma y rechazo de carga.