

Estructura de dos grados de libertad como regulador de velocidad para una planta hidroeléctrica

Two degrees of freedom structure as speed regulator in a hydraulic power plant

Francisco J. Triveno Vargas 1. Hernán Jaldin Florero 2.

1 Docente invitado, Universidad Privada del Valle

trivenoj@yahoo.com.br

2 Docente titular, FCYT-UMSS

h.jaldin.f@gmail.com

RESUMEN

Este trabajo es una propuesta de estructura de dos grados de libertad (TDOF) como controlador (gobernador) de velocidad en una planta hidroeléctrica.

Se presenta el modelo lineal y no lineal de una turbina hidráulica, así como también se describe el modelo de un generador de bus infinito para ser utilizado en simulaciones no lineales y, además, se incluyen algunos requisitos de la autoridad de energía eléctrica para ser considerados en el proyecto. Se describen, en secuencia, el regulador de atraso y avance de fase y el de dos grados de libertad.

El proyecto y análisis de los reguladores se evalúan teniendo en cuenta los requisitos de tiempo y frecuencia. Finalmente, se presentan las simulaciones no lineales que incluyen el modelo de excitación y el sistema de estabilización de potencia. Cabe destacar que esta propuesta es resultado del curso de Control de Generadores Eléctricos utilizando Matlab-Simulink administrado en Bolivia por primera vez.

Palabras clave: Hidrogeneradores. Grados de Libertad. Control de velocidad. Generadores eléctricos.

ABSTRACT

In this work the structure of two degrees of freedom (TDOF) is proposed as controller (governor) of speed in a hydroelectric plant.

The linear and non-linear model of a hydraulic turbine is presented, as well as the model of an infinite bus generator to be used in non-linear simulations, in addition, some requirements of the electric power authority are included to be considered in the project. The lead and lag phase regulator and the two degrees of freedom are described in sequence.

The project and analysis of the regulators are evaluated taking into account the time and frequency requirements. Finally, the non-linear simulations that include the excitation model and the power system stabilization are presented. It should be highlight that this proposal is the result of the first course Control of Electric Generators using Matlab-Simulink administered in Bolivia.

Keywords: Hydrogenerators. Degrees of freedom. Speed Control. Generator.

INTRODUCCIÓN

En abril de 2015 se administró el Curso de Modelado, Simulación y Control de Sistemas Mecatrónicos y Aeroespaciales con Matlab-

Simulink® y Mathematica™, ejecutado entre BOCIER (Comisión de Integración Eléctrica Regional de Bolivia) y el Comité Nacional de Despacho de Carga (CNDC), establecido en la ciudad de Cochabamba. Este punto marca el inicio de una serie de cursos de mejoría con la participación de ingenieros de diferentes empresas del sector eléctrico de Bolivia. Otro resultado de esta iniciativa fue el Curso Control de generadores eléctricos utilizando Matlab-Simulink®, que se ejecutó en la Central Eléctrica de Guaracachi (Santa Cruz de la Sierra) en enero de 2017.

La razón principal para estas actividades es que los Sistemas Eléctricos de Potencia -hoy por hoy- son extraordinariamente complejos, por lo que el servicio debe proporcionarse con alta confiabilidad y calidad. Por lo tanto, es necesario garantizar la capacidad del sistema para suministrar continuamente cargas con características de voltaje y frecuencia dentro de las restricciones contractuales. Esto significa que el voltaje y la frecuencia deben mantenerse dentro de los valores de tolerancia permitidos (Machowski et al., 2008).

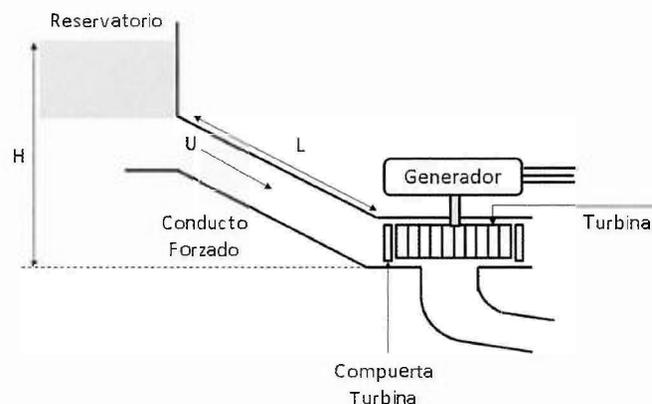
El sistema sujeto a perturbaciones debe funcionar satisfactoriamente y proporcionar la demanda de carga requerida con éxito. Debe soportar perturbaciones, como un cortocircuito en una línea de transmisión o un mal funcionamiento de un generador (Farmer, 2001). La respuesta a una perturbación puede comprometer una parte considerable del equipo; por ejemplo, la falla de un elemento crítico, seguido de su aislamiento por relés de protección, causa variaciones en los flujos de potencia que afectan principalmente a la velocidad y a la tensión de la máquina. Las variaciones de voltaje activan los reguladores de voltaje (AVR y PSS entre otros) y las variaciones de velocidad disparan los reguladores de velocidad (Kundur, 1993).

Teniendo en cuenta estas consideraciones, es propuesto el controlador de dos grados de libertad TDOF (Wolovich, 1994) como una alternativa para regular la velocidad de las turbinas hidroeléctricas (tradicionalmente se usan PID y/o controladores de atraso y avance de fase). El controlador de dos grados de libertad se ha utilizado para el sistema de control y aumento de estabilidad de aeronaves ejecutivas (Vargas et al., 2015); también se implementó con éxito para controlar la posición en un robot SCARA (Vargas et al., 2004).

Plantas Hidroeléctricas

Una planta hidroeléctrica convierte energía mecánica (energía cinética y potencial) en energía eléctrica a través de una turbina hidráulica. El diagrama N°1 ilustra los componentes de una unidad de generación hidroeléctrica simplificada.

Diagrama N°1. Unidad de generación hidroeléctrica simplificada



Fuente: Adaptado de Kundur, 1993

Modelo lineal de la turbina

El modelo lineal se obtiene a partir de las ecuaciones básicas de la turbina y las características del conducto forzado (Kundur, 1993). La relación entre la potencia y la compuerta de turbina sin considerar pérdidas es dada por:

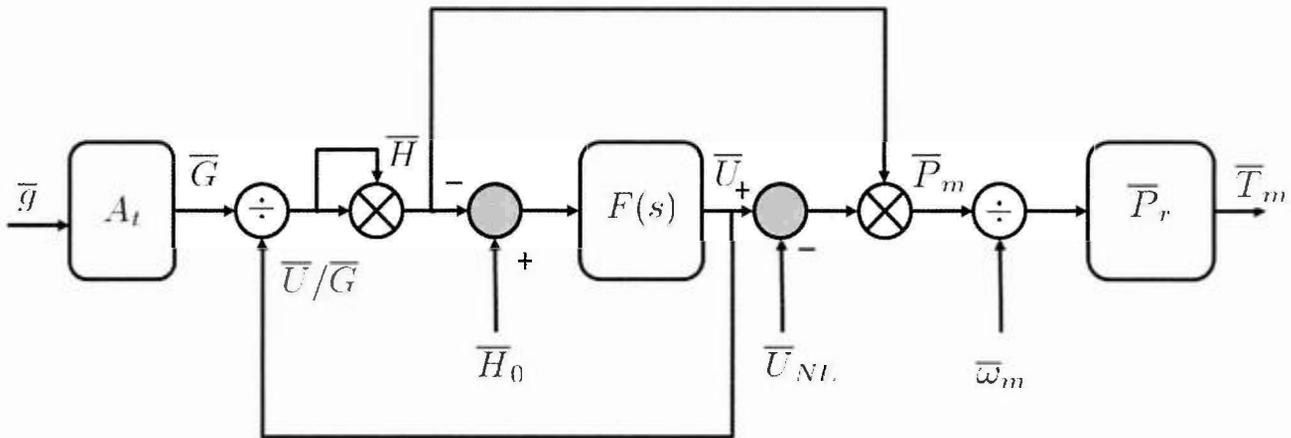
$$\frac{\Delta \bar{P}_m}{\Delta \bar{G}} = \frac{1 - T_w s}{1 + 0.5 T_w s} \quad (1)$$

Los valores típicos de T_w varían entre 0,5 y 4,0 segundos. Este modelo es usado para el proyecto de los reguladores.

Modelo no lineal de la turbina

El modelo no lineal es ilustrado en el diagrama N°2.

Diagrama N°2. Modelo no lineal turbina conducto forzado



Fuente: Modificado de Kundur,1993

Este modelo toma en cuenta los efectos de variación de flujo en el tiempo efectivo del agua, también incorpora el cambio en las ganancias debido a las variaciones nominales de las alturas (H_0), el desplazamiento del flujo sin carga (UNL) y la reducción efectiva de Golpe de Ariete (A_t) dado por:

$$A_t = \frac{1}{\bar{g}_{FL} - \bar{g}_{NL}}$$

Es importante enfatizar que todos los valores están expresados por unidad(-), los modelos gobernador (controlador)/ turbina se basan normalmente en la potencia nominal MW de la turbina y no en la potencia del generador en MVA. Los valores empleados son presentados en la tabla N°1 (Kundur, 1993).

Tabla N°1. Valores planta hidroeléctrica

Generador	Turbina
140 MVA	127,4 MW
$L = 250$	$A = 11,15$
$H_r = 165$	$Q_r = 80$
$T_{FI} = 1.1$	$T_{NI} = 0,1$

Fuente: Elaboración propia, 2017

Modelo Generador Síncrono

El modelo de generación de barra infinita es ilustrado en el diagrama N°3, donde una de las puertas está conectada a las terminales del generador y la otra está conectada a la fuente de tensión E_b .

Diagrama N°3. Generador de barra infinita



Fuente: Modificado Padiyar, 2008

Las ecuaciones del generador son:

$$\frac{d\delta}{dt} = \omega_B (S_m - S_{mo}) \quad (2)$$

$$\frac{dS_m}{dt} = \frac{1}{2h} [-D(S_m - S_{mo}) + T_m - T_e] \quad (3)$$

$$\frac{dE'_q}{dt} = \frac{1}{T'_{do}} [-E'_q + (x_d - x'_d)i_d + E_{fd}] \quad (4)$$

$$\frac{dE'_d}{dt} = \frac{1}{T'_{qo}} [-E'_d + (x_q - x'_q)i_q] \quad (5)$$

El torque eléctrico es dado por:

$$T_e = E'_d i_d + E'_q i_q + (x'_d - x'_q) i_q i_d \quad (6)$$

Considerando una red sin perdidas, las ecuaciones del estator y las ecuaciones de la red son:

$$E'_q + x'_d i_d - R_a i_q = V_q \quad (7)$$

$$E'_d + x'_d i_q - R_a i_d = V_d \quad (8)$$

$$V_q = -x_e i_d + E_b \cos(\delta) \quad (9)$$

$$V_d = -x_e i_q + E_b \sin(\delta) \quad (10)$$

Resolviendo las ecuaciones 7-10 y haciendo $R_a = 0$, las corrientes obtenidas son:

$$i_d = \frac{E_b \cos(\delta) - E'_q}{x_e + x'_d} \quad (11)$$

$$i_q = \frac{E_b \sin(\delta) - E'_d}{x_e + x'_q} \quad (12)$$

Más detalles pueden ser encontrados en Padiyar (2008).

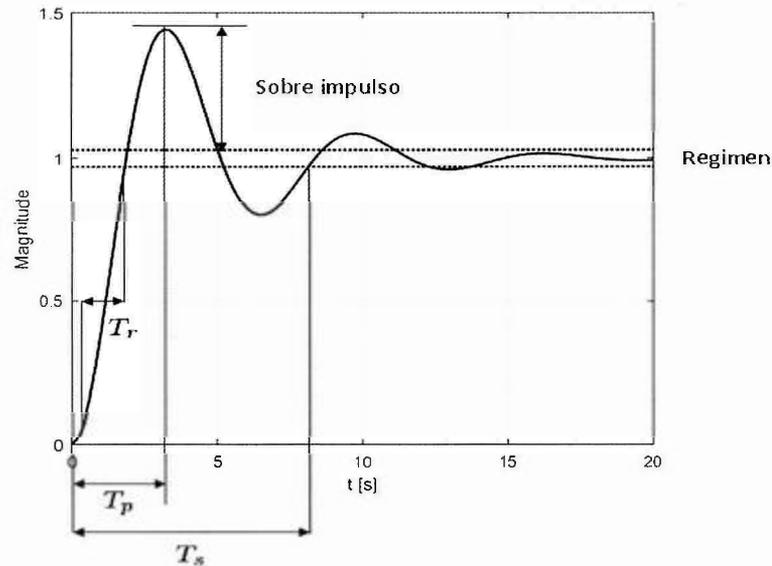
Requisitos de la Agencia Nacional de Electricidad

El desempeño de los controladores es evaluado empleando los siguientes criterios:

Requisitos en el dominio del tiempo

La respuesta en malla cerrada a una entrada escalón es ilustrada en el diagrama N°4, a partir de esta respuesta con definidos los requisitos en el dominio de tiempo. T_r , T_p y T_s corresponde al tiempo de subida, el tiempo de pico y el tiempo de asentamiento o de régimen estacionario.

Diagrama N°4. Respuesta a escalón en malla cerrada



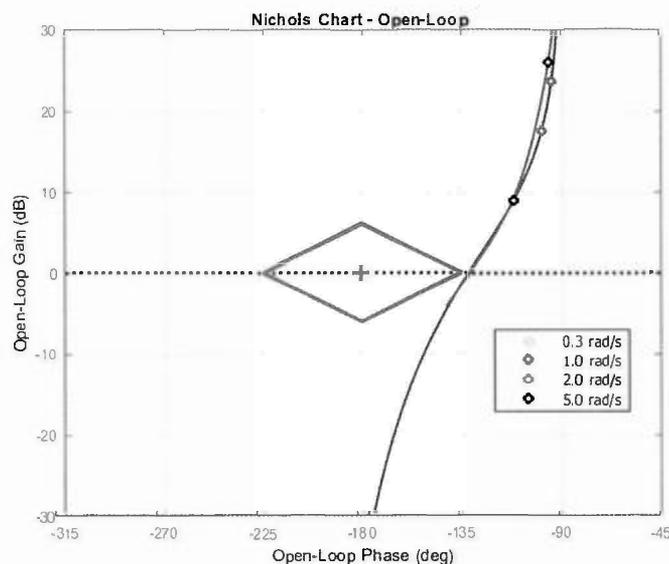
Fuente: Elaboración propia, 2017

Requisitos en el dominio de la frecuencia

De la respuesta en frecuencia, el ancho de banda de ganancia BW_{gain} se define por la frecuencia en la que el margen de ganancia es 6 dB; en otras palabras, es la frecuencia correspondiente a la ganancia 6 dB más alta que la ganancia cuando la fase es -180 grados. El ancho de banda de ganancia de fase BW_{phase} se define por la frecuencia a la que el margen de fase es de 45 grados, o esta es la frecuencia a la que la fase pasa -135 grados (es 45 grados mayor que -180 grados) (Wolovich, 1994).

El diagrama N°5 ilustra la carta de Nichols, donde los ejes horizontal y vertical del rombo representan la margen de fase y el margen de ganancia respectivamente. Los valores vértices corresponden a 45 grados y 6 dB (Alavi, S. and Saif, M, 2013).

Diagrama N°5. Carta de Nichols (malla abierta)



Fuente: Elaboración propia, 2017

La tabla N°2 resume los requisitos considerados para el proyecto de los regulares correspondientes a una planta hidroeléctrica.

Tabla N°2. Requisitos en tiempo y frecuencia para una planta hidroeléctrica

Propiedad	Valor
Amortiguación respuesta	<1
Estatismo permanente	[6, 12]%
Tiempo hasta el régimen	< 25 s.
Sobre impulso	<20 %
Margen de ganancia	>6 [dB]
Margen de fase	>45 grados

Fuente: Elaboración propia, 2017

Controladores (Reguladores)

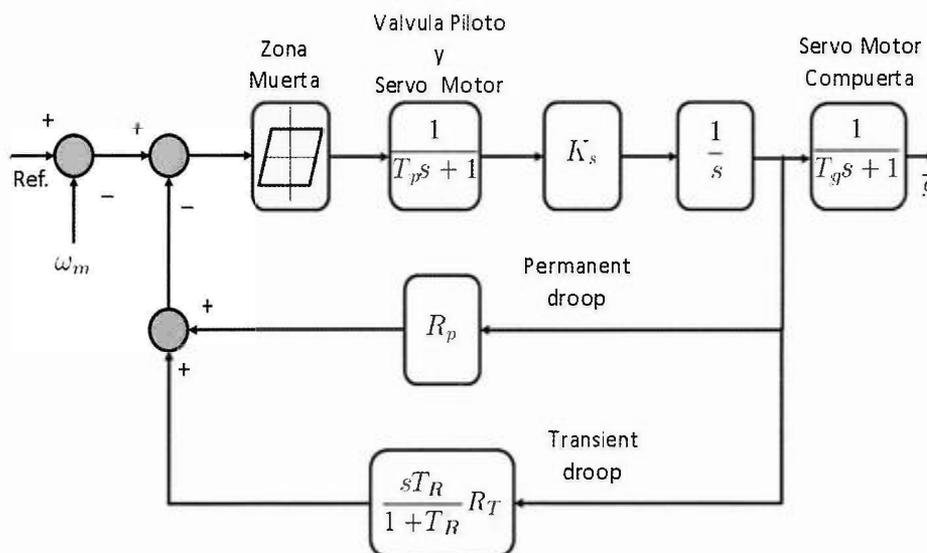
Es importante comentar que la relación entre la potencia mecánica y la apertura de la compuerta de las turbinas hidroeléctricas es inicialmente inversa debido a la inercia del agua. Por lo tanto, el gobernador debe proporcionar un *droop* transitorio al control de velocidad para limitar el sobre impulso del servomotor de la compuerta de la turbina durante el transitorio.

Los reguladores de velocidad para turbinas hidroeléctricas usan sistemas electrohidráulicos (actualmente micro procesados). En este sentido, además del gobernador de dos grados de libertad propuesto en este trabajo para comparación, es presentado el controlador de atraso y avance de fase ya consagrado en la literatura para este propósito (Kundur,1993).

Controlador atraso y avance de fase

La estructura típica para este controlador es ilustrada en el diagrama N°6.

Diagrama N°6. Estructura de control de atraso y avance de fase



Fuente: Modificado Kundur, 1993

La función de transferencia de la compensación de caída transitoria viene dada por:

$$G_c(s) = R_T \frac{sT_R}{1 + sT_R} \quad (13)$$

El desempeño en régimen puede ser determinado por el *droop* en régimen Rp. Este parámetro varía en el rango de 0,03 a 0,06. Los parámetros del gobernador que se pueden sintonizar para controlar el desempeño dinámico de la unidad generadora son T_R , R_T y K_S . Para el funcionamiento estable en condiciones de isla (el peor de los casos), la elección del droop RT y el tiempo de reinicio TR son dados por:

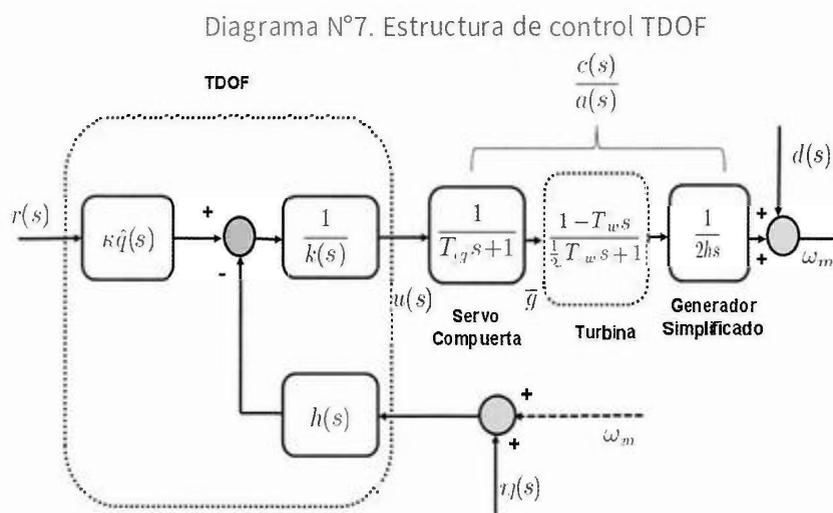
$$R_T = [2.3 - (T_{v,w} - 1)0.15] \frac{T_w}{2h} \quad (14)$$

$$T_R = [5.0 - (T_w - 1)0.5] T_{v,w}$$

Los ajustes anteriores proporcionan un buen desempeño durante condiciones aisladas más severas y una respuesta lenta durante la carga en operación interconectada normal, K_S debe ser lo más alto posible (Kundur, 1993).

Controlador TDOF

La estructura de controlador TDOF es ilustrado en el diagrama N°7.



Fuente: Elaboración propia, 2017

El servo motor de la compuerta, la turbina y el modelo de generador simplificado empleados para el proyecto están representados por la función de transferencia racional mínimamente estricta propia como:

$$G(s) = \frac{c(s)}{a(s)} \quad (15)$$

Donde los polinomios $a(s)$ y $c(s)$ son co-primos de grados n y m ($n > m$) de coeficientes reales. La función de transferencia de malla cerrada, sin considerar la perturbación y del ruido del sensor, es dada por:

$$\frac{\omega_m(s)}{r(s)} = K \frac{c(s)\hat{q}(s)k}{a(s)k(s) + c(s)h(s)} = K \frac{c(s)\hat{q}(s)}{\delta(s)} \quad (16)$$

Donde K y el polinomio $\delta(s)$ son los polos de malla cerrada.

El controlador garantiza una buena regulación de salida (seguimiento de trayectoria) cuanto más alejadas estén las raíces $\delta(s)$ del eje imaginario. Sin embargo, esta característica es obtenida en desmedro del esfuerzo de control, resultado que puede llevar a la saturación de los actuadores.

El problema de la saturación es evitado minimizando el índice LQR dado por:

$$J_{LQR} = \int_0^{\infty} \{ \rho(r(t) - \omega_m)^2 + u(t)^2 \} dt \quad (17)$$

Con este índice es garantizado un apropiado desempeño en malla cerrada y una adecuada regulación de salida. La solución de la ecuación (17) en el espacio de estados es conocida como la ecuación de Ricatti. Su solución en el espacio de la frecuencia (solución empleada en este trabajo) es conocida como factorización espectral (Wolovich, 1994).

Factorización Espectral

Los polinomios $a(s)$ y $c(s)$ tienen coeficientes reales de forma que:

$$\begin{aligned} a(j\omega)a(-j\omega) &= |a(j\omega)|^2 \geq 0 \\ c(j\omega)c(-j\omega) &= |c(j\omega)|^2 \geq 0 \end{aligned} \quad (18)$$

La ecuación (18) permite que para un factor de ponderación, sea obtenido:

$$\Delta(s) = a(s)a(-s) + \rho c(s)c(-s) \quad (19)$$

Donde las “ $2n$ ” raíces de $\Delta(s)$, obtenidas variando de ρ de 0 a α , representan un grupo especial de raíces llamada de lugar geométrico de raíces cuadráticas. De esta forma la factorización espectral es dada por:

$$\Delta(s) = [\Delta(s)]^+ [\Delta(s)]^- = \delta^{F^*}(s) \delta^{F^*}(-s) \quad (20)$$

Donde los polos óptimos del sistema (20), son dados por las “ n ” raíces de $\delta^{F^*}(s)$. Por dualidad, se pueden obtener también las “ n ” raíces estables de $\delta^{H^*}(s)$, definidas como:

$$\bar{\Delta}(s) = a(s)a(-s) + \sigma c(s)c(-s) = \delta^{H^*}(s) \delta^{H^*}(-s) \quad (21)$$

En ambos casos, la variación simple de los parámetros ρ y σ permite la localización óptima de los polos. De esta forma, las ganancias de grado $K(s)$ y $h(s)$ del controlador son dadas por:

$$k(s) = s^{n-1} + k_{n-2}s^{n-2} + \dots + k_1s + k_0 \quad (22)$$

$$h(s) = h_{n-1}s^{n-1} + \dots + h_1s + h_0 \quad (23)$$

Son obtenidas de la solución de la ecuación diofantina:

$$a(s)k(s) + c(s)h(s) = \delta^{F^*}(s)\hat{q}(s) \quad (24)$$

Donde $\delta^{F^*}(s)$ es el polinomio determinado a partir de un valor de ρ y $\hat{q}(s)$ de orden "n-1" es el resultado del polinomio $\delta^{H^*}(s)$ obtenido a partir de σ . Los polinomios $K(s)$, $h(s)$ y $\hat{q}(s)$ representan las ganancias óptimas del controlador TDOF.

Proyecto de Controladores

La función de transferencia utilizada para el proyecto es dada por:

$$\frac{1}{R_p} \left(\frac{1}{1 + T_g s} \right) \left(\frac{1 - T_w s}{1 + 0.5T_w s} \right) \left(\frac{1}{2h \times s} \right) \quad (25)$$

Los valores empleados son presentados en la tabla N°3:

Tabla N°3. Parámetros y constantes de tiempo

Variable	Valor
T_w	1
T_g	0,5
T_p	0
h	3,5
R_p	0,05

Fuente: Kundur, 1993

Empleando los valores de la tabla N°3, la función de transferencia resultante es:

$$\frac{-20s + 20}{1.75s^3 + 7s^2 + 7s} \quad (26)$$

Controlador de atraso y avance de fase

Considerando la estructura ilustrada en el diagrama N°6 (la zona muerta no es considerada) el controlador de atraso y avance de fase es dado por:

$$G_c(s) = \frac{1 + T_R s}{1 + (R_T / R_p) T_R s} \quad (27)$$

Los valores de R_T y T_R son 0,4 y 6 respectivamente.

Controlador de dos grados de libertad

En la tabla N°4 son presentados los factores de ponderación ρ y σ utilizados para el proyecto del controlador de dos grados de libertad.

Tabla N°4. Factores de ponderación del controlador TDOF

ρ	σ
1	0.5

Fuente: Elaboración propia, 2017

En la tabla N°5 son presentadas las ganancias obtenidas.

Tabla N°5. Ganancias del controlador TDOF

Variable	K	$q^{\wedge}(s)$	$k(s)$	$h(s)$
	0,58	4,9460	2,5461	-1,5339
		6,1158	27,1885	2,0608
				3,4947

Fuente: Elaboración propia, 2017

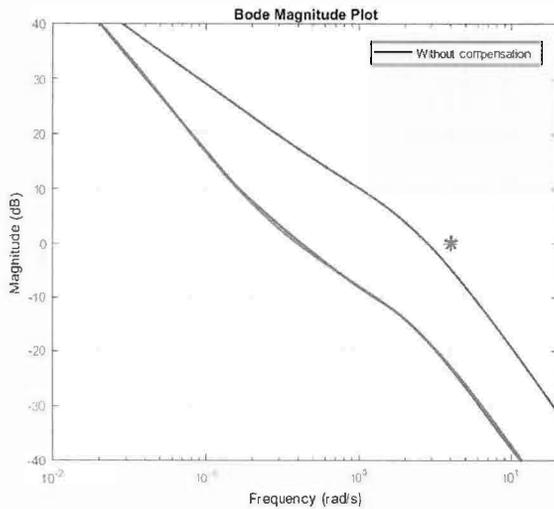
Resultados del Análisis Lineal

Los resultados de proyecto y análisis lineal son presentados a continuación.

Controlador de atraso y avance de fase

El gráfico N°1 ilustra la margen de ganancia en función de la frecuencia para este controlador (diagrama de Bode). En este resultado se verifica que la frecuencia de cruzamiento corresponde a aproximadamente 4 rádianos por segundo.

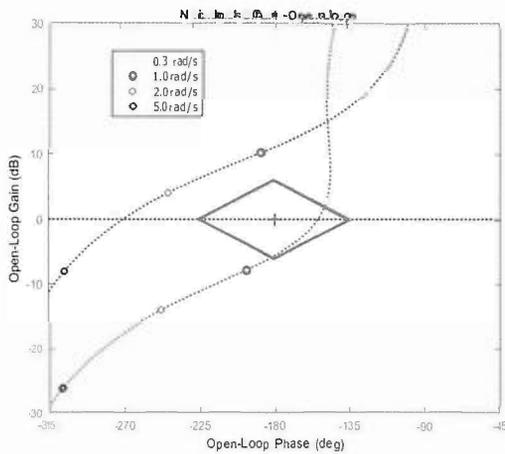
Gráfico N°1. Diagrama de bode para el controlador de atraso y avance de fase



Fuente: Elaboración propia, 2017

El gráfico N°2 ilustra la carta de Nichols. En este resultado se verifica que el margen de fase es menor que aquel pedido en el requisito y que el margen de ganancia esta próximo al límite del requisito. Inicialmente estos resultados son considerados aceptables.

Gráfico N°2. Márgenes de fase y ganancia para el controlador de avance y atraso



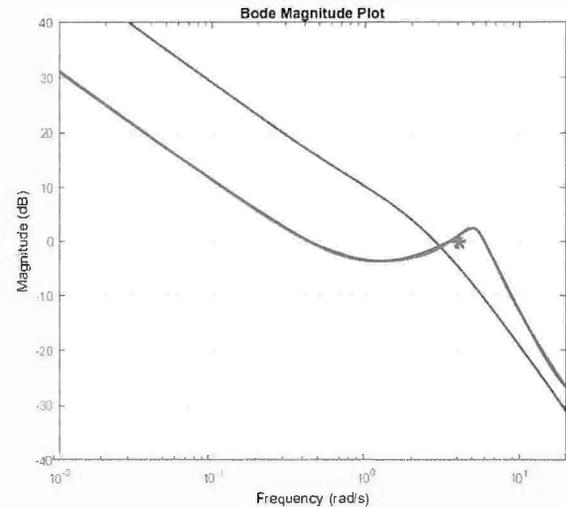
Fuente: Elaboración propia, 2017

Controlador de dos grados de libertad

El gráfico N°3 ilustra el diagrama de Bode para el controlador de dos grados de libertad. En este resultado, se puede constatar que la frecuencia

de cruzamiento corresponde a 4 rádianos por segundo.

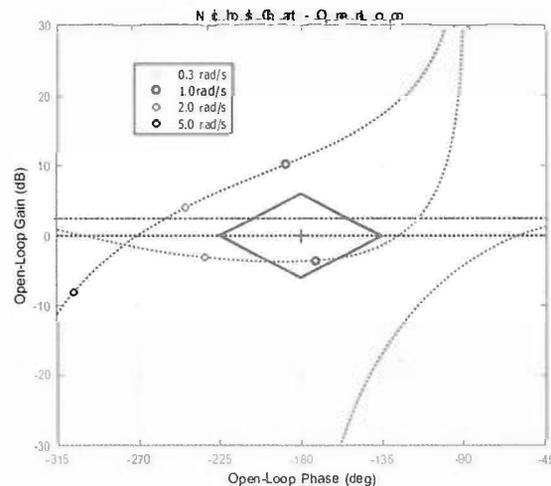
Gráfico N°3. Margen de ganancia del controlador de dos grados de libertad



Fuente: Elaboración propia, 2017

El gráfico N°4 ilustra nuevamente la carta de Nichols. En este caso se constata que, si bien el margen de fase es mayor al requisito, el margen de ganancia ahora se encuentra por bajo del requisito. El perfil de este resultado se debe a la composición de los ceros y los polos del controlador y de la función de transferencia empleada para el proyecto.

Gráfico N°4. Carta de Nichols del controlador de dos grados de libertad

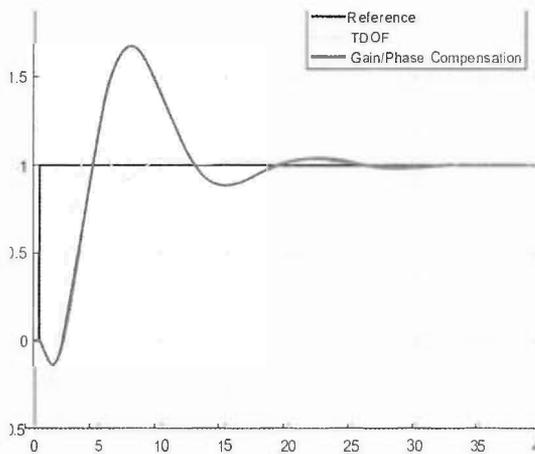


Fuente: Elaboración propia, 2017

Comparación

La respuesta a escalón de los dos controladores es ilustrada en el gráfico N°5. En este resultado se puede verificar que el controlador de atraso y avance de fase presenta un sobre impulso mayor al establecido en los requisitos, esta última característica no está presente en el controlador de dos grados de libertad. En términos de velocidad de respuesta (tiempo de subida) los dos controladores tienen características similares. Finalmente, el tiempo para entrar en régimen es menor en controlador de dos grados de libertad que en de atraso y avance de fase.

Gráfico N°5. Funciones de transferencia de la ganancia de malla, primer modo flexible y viento



Fuente: Elaboración propia, 2017

La tabla N°6 presenta los valores de margen de ganancia y margen de fase de los dos controladores. Considerando rigurosamente los requisitos establecidos por la autoridad de electricidad, los dos controladores no cumplen con los mismos; sin embargo, pueden ser considerados satisfactorios.

Tabla N°6. Márgenes de ganancia y fase de los dos controladores

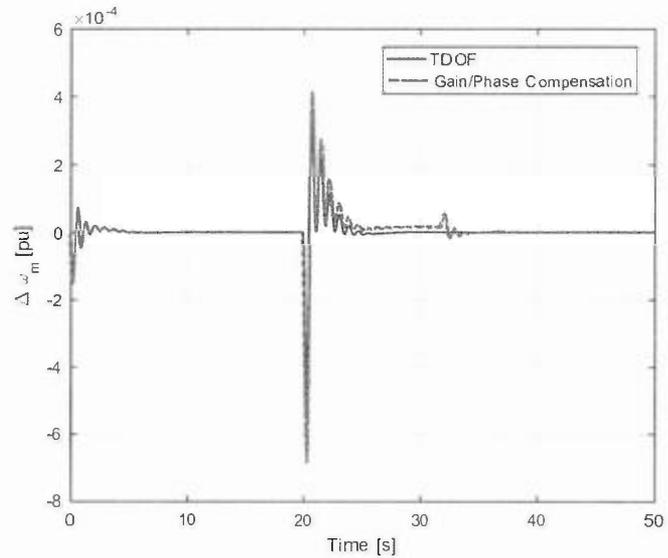
Margen	Sin Controlador	Atraso y avance de fase	Dos grados de libertad
Ganancia dB	-9,85	5,6	4
Fase grados	-88,61	26	53

Fuente: Propia, 2017

Resultados Simulación No Lineal

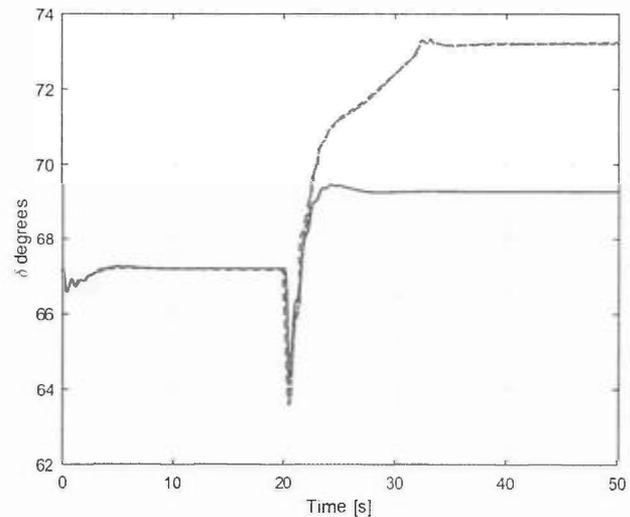
Para explorar la posible implementación del controlador propuesto, las simulaciones no lineales se ejecutaron considerando perturbaciones en la velocidad angular $\Delta\omega_m$ de amplitud de 20 radianos por segundo. Esta perturbación fue colocada transcurridos 20 segundos de simulación. Los resultados de la simulación no lineal son ilustrados en los gráficos N°6,7,8y9.

Gráfico N°6. Variación de la velocidad



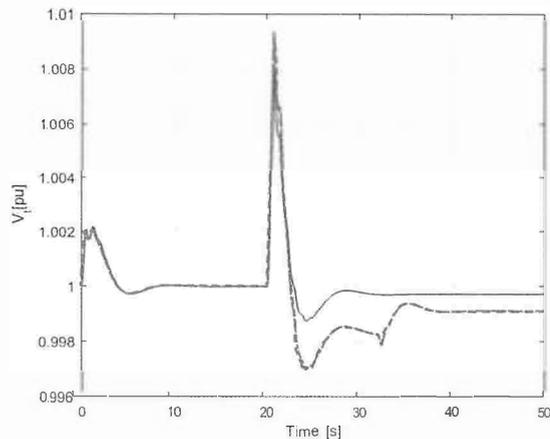
Fuente: Elaboración propia, 2017

Gráfico N°7. Respuesta del ángulo de potencia



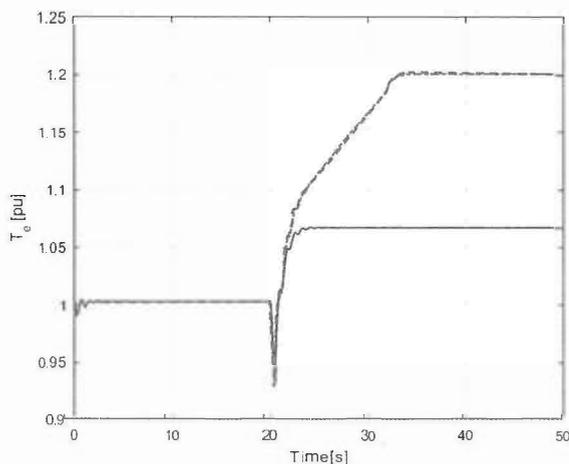
Fuente: Elaboración propia, 2017

Gráfico N°8. Variación de voltaje terminal



Fuente: Elaboración propia, 2017

Gráfico N°9. Variación torque eléctrico



Fuente: Elaboración propia, 2017

En estos resultados se verifica que la variación de velocidad y el ángulo de máquina alcanzado después de la perturbación es menor para la estructura de dos grados de libertad; también, la tensión de terminal es menor en comparación con el controlador de avance y atraso de fase. Finalmente, el algoritmo propuesto no presenta saturación.

CONCLUSIONES

Este trabajo propone el uso de la estructura de dos grados de libertad como gobernador de hidrogenadores. Como es realizado tradicionalmente, para el proyecto se utilizó un modelo lineal, se realizó una comparación paralela

con otro controlador propuesto en la literatura; en este caso, el controlador de atraso y avance de fase. Los controladores obtenidos, el análisis lineal y las respectivas comparaciones también fueron presentados. Finalmente, se presentan los resultados iniciales de simulaciones no lineales, enfatizando que los resultados iniciales son satisfactorios y prometedores para continuar la investigación presentada en este trabajo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Alavi, S. y Saif, M. (2013). On stability analysis by using Nyquist and Nichols Charts. (1era edición) Canadá: University of Windsor.
- (2) IEEE, C. R. (1981). Excitation system models for power system stability studies. EE. UU.: IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, pp. 494-509.
<https://doi.org/10.1109/TPAS.1981.316906>
- (3) Kundur, P. (1993). Power System Stability and Control. (1era edición) New York: McGraw-Hill.
- (4) Machowski, J., Bialek, J. y Bumby, J. (2008). Power System Dynamics: Stability and Control. (1era edición) Reino Unido: Wiley and Sons.
- (5) Naghizadeh, R. A., Jazebi, S. y Vahidi, B. (2012). Modeling hydro power plants and tuning hydro governors as an educational guideline. Italia: International Review on Modeling and Simulations 5(4): 1780-1790.
- (6) Padiyar, K. (2008). Power System Dynamics: Stability and Control. (2da edición) India: BS Publications.
- (7) Vargas, F. J. T., de Pieri, E. R. y Castelan, E. B. (2004). Identification and friction compensation for an industrial robot using two degrees of freedom controllers. China: ICARCV, IEEE, pp. 1146-1151.
<https://doi.org/10.1109/ICARCV.2004.1469006>
- (8) Vargas, F. J. T. y Paglione, P. (2015). Ferramentas de Álgebra Computacional: Aplicações em Modelagem, Simulação e Controle para Engenharia. (1era edición) Brasil: LTC.
- (9) Wolovich, W. A. (1994). Automatic Control Systems: Basic Analysis and Design. (2da edición) Reino Unido: Oxford University Press.

Fuentes de financiamiento: Esta investigación fue financiada con fondos de los autores.

Declaración de conflicto de intereses: Los autores declaran que no tiene ningún conflicto de interés.

Copyright (c) 2018 Francisco J. Triveno Vargas; Hernán Jaldin Florero.



Este texto está protegido por una licencia [Creative Commons 4.0](#).

Usted es libre para Compartir —copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato— y Adaptar el documento —remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la condición de:

Atribución: Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.

[Resumendelicencia](#) - [Textocompletodelalicencia](#)