

V Seminario Euro-Latinoamericano en Sistemas de Ingeniería V SELASI

Área Temática: Mecatrónica

Título: Conceptualización y modelación matemática de una transmisión híbrida hidráulica para vehículos.

Dr. Ing. Morejón Vizcaino Genovevo
email: gmvizcaino@mecanica.cujae.edu.cu

Departamento de Mecánica Aplicada, Facultad de Ingeniería Mecánica, Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echeverría”, Calle 114 S/N, Marianao, Ciudad Habana, Cuba

Resumen

Las transmisiones híbridas hidráulica es un producto de desarrollo reciente obtenido por la Mecatrónica orientada a los equipos automotriz. Este nuevo producto incide de forma positiva en dos temas de prioridad para la humanidad: el ahorro de portadores energéticos y la emisión de gases a la atmósfera, por lo que también afecta positivamente la reducción de la contaminación ambiental y el efecto invernadero.

El problema es cómo desarrollar una transmisión híbrida hidráulica con una fuente de energía formada por una máquina híbrida de múltiples pistones con función de MCI y de bomba hidráulica simultáneamente, que la variación de la cilindrada en las máquinas volumétricas acopladas a las ruedas a través de un reductor de velocidad permita mantener constante la presión y que la variación de la frecuencia de encendido de las bujías regule la cantidad de fluido en el sistema. Una meta es el empleo mayoritario de componentes normalizados para que sea una tecnología asimilable con facilidad para los países del sur.

El método empleado es una modificación del “Desarrollo de nuevos productos orientado a la capacidad tecnológica disponible”. La primera fase de este método tiene como meta obtener el prototipo analítico para realizar experimentos computacionales con el fin de adquirir el nuevo conocimiento a través de iteraciones. Los resultados presentados son: la primera iteración de la conceptualización y de la modelación matemática.

1 Introducción

Actualmente la sobrevivencia sobre el planeta está siendo amenazada como consecuencias

del mal trato brindado por el hombre al medio ambiente, para revertir esta dura realidad fabricantes de vehículos están desarrollando nuevas tecnologías empleando fuentes de energías alternas con la intención de: reducir las emisiones de ruido, reducción del consumo del combustible y por ende las emisiones de gases contaminantes.

En este intento ha surgido una tecnología denominada vehículos híbridos los cuales combinan un motor a diesel y uno eléctrico o una transmisión hidrostática los primeros son nombrados híbridos eléctricos y los segundo hidráulicos. La ventaja de ellos es que la energía que antes se consumía en el sistema de frenos durante los periodos de desaceleración ahora se almacena en los acumuladores y posteriormente se reutiliza. Logrando la consecuente disminución del consumo y por ende de las emisiones.

El primer automóvil híbrido de producción masiva fue el Toyota Prius en el año 1997 [3]. La venta en ese año estuvieron alrededor de 100 unidades y se prevé que para lo década del 2010 las ventas serán de alrededor de 1 millón por años [4]. “El uso de estas nuevas tecnologías puede traer ahorros aproximados de 65 millones de barriles diarios de combustible, cifra que se manejó durante el Foro Internacional sobre Combustibles Limpios para el Transporte en la Ciudad de México” [5]. La información aportada en este párrafo demuestra la necesidad, novedad, relevancia y actualidad del tema que es objeto de estudio.

Existen varios tipos de transmisiones para vehículos híbridas pero las más prometedoras hasta el momento son: las híbridas eléctricas y las nuevas híbridas hidráulicas [6]. Una de los principales parámetros para elegir una o la otra se muestra en la Figura 1.

La compañía alemana INNAS desarrolló un nuevo concepto denominado 'Hybrid' en el cual la transmisión mecánica del vehículo fue reemplazada por una hidrostática, cada rueda esta equipada con una maquina volumétrica de rueda de forma tal que durante los periodos de marcha trabaje como hidromotor y durante los de desaceleración como bomba de forma tal que impulse el fluido a presión a los acumuladores para posteriormente reutilizar esa energía en el periodo de aceleración [1].

La fuente de energía es un motor denominado Chiron haciendo alusión al sabio centauro de la mitología griega, porque este ingenio tiene doble función como motor de combustión interna y bomba hidráulica, además de ser "inteligente", los pistones correspondientes a la combustión están rígidamente enlazados con los de la bomba es por esto que cuando ellos son empujados por la explosión de la mezcla combustible en el otro extremo el aceite hidráulico a presión está siendo enviado al circuito hidráulico. Esta solución disminuye drásticamente el número de elementos de maquinas [7], [8].

Otro elemento distintivo del Hybrid es que trabaja a altas presiones para permitir que el Chiron labore en un régimen eficiente siendo el transformador hidráulico quien juega el rol de mantener la presión de trabajo y la cantidad de líquido necesario en el sistema [9]. Los vehículos con transmisión híbrida tienen todas las ventajas de los mecanismos paralelos [1].

Se trabaja en una investigación cuyo problema es: Cómo desarrollar una transmisión híbrida hidráulica cuyo concepto de referencia es la transmisión Hybrid pero con una fuente de energía formada por una maquina híbrida de múltiples pistones y que la función del transformador hidráulico sea sustituida por la variación de las cilindrada en las maquinas volumétricas para mantener constante la presión y que la frecuencia de encendido se modifique para garantizar el caudal necesario en el sistema. Además de la adición de un reductor de velocidad entre la maquina volumétrica y la rueda con el objetivo de reducir la masa del caro "acero hidráulico" con que están fabricados las maquinas volumétricas. Una meta es el empleo mayoritario de componentes normalizados.

El método empleado es una modificación del propuesto en [2]. La primera fase de este método tiene como meta obtener el prototipo analítico para realizar experimentos computacionales con el fin de adquirir el nuevo

conocimiento a través de iteraciones. Los resultados presentados son: la primera iteración de la conceptualización y de la modelación matemática.

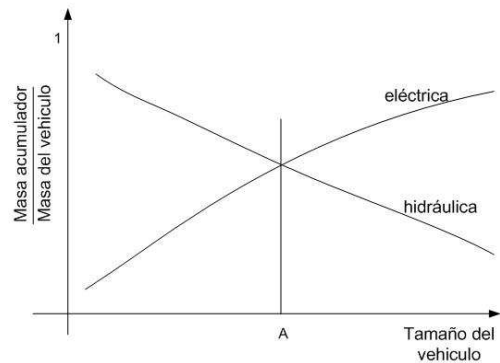


Figura 1 Relación entre las transmisiones híbridas hidráulicas y eléctricas

2 Métodos

El método empleado es una modificación del "Desarrollo de nuevos productos orientado a la capacidad tecnológica disponible" propuesto en [2]. La primera fase de este método tiene como meta obtener el prototipo analítico para realizar experimentos computacionales con el fin de adquirir el nuevo conocimiento a través de iteraciones como se muestra en la Figura 2.

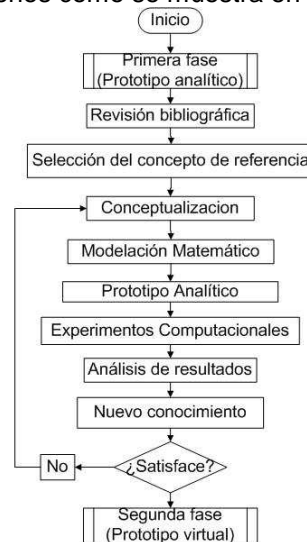


Figura 2 Primera fase del método de desarrollo de nuevos productos

2.1 Conceptualización.

La conceptualización o presentación del concepto tiene como objetivo realizar un esquema o boceto que permita formarse una idea sobre el nuevo producto. Se muestran las soluciones básicas constructivas y permite explicar el principio de funcionamiento así

como encontrar sus fortalezas y debilidades, además realizar estudios sobre el producto de forma tal que se pueda definir su modelo matemático (Ver Figura 3). El concepto de referencia es la transmisión Hybrid.

En el concepto propuesto no existe transmisión mecánica las ruedas motrices del vehículo están conectadas a las maquinas volumétrica por reductores de velocidad. Las maquinas volumétricas son de pistones axiales de eje recto, a estas se le regula la cilindrada a través de un variador electroproporcional con el objetivo de mantener la presión del sistema constantes y en valores elevados preestablecidos con el objetivo que la combustión interna del motor hibrido se encuentre en un régimen de alta eficiencia. Ellas se encuentran instaladas a tuberías de presión comunes. Durante el periodo de desaceleración las maquinas volumétricas trabajan como bombas enviando el aceite hidráulico a presión a los acumuladores, esta energía almacenada se reutiliza en el periodo de aceleración.

También está concebido un pequeño MCI para mover la bomba hidráulica del sistema auxiliar que tiene la función de llenar los cilindros híbridos con aceite hidráulico. Además anima a las dos bombas del sistema de inyección, a un ventilador, a un compresor y a un generador de corriente eléctrica.

La fuente de energía es un motor hibrido formado por varias cilindro híbridos los cuales en la parte superior son semejantes a una de un MCI con bujía, inyectores, pistones y válvula de escape, pero en la parte inferior realizan la función de bomba hidráulica. Ambos pistones están unidos rígidamente de forma tal que cuando el cilindro hidráulico es llenado por el circuito auxiliar el pistón superior marcha al punto muerto superior y cuando la bujía enciende el pistón inferior desciende enviando el aceite hidráulico a presión al circuito para mover las ruedas. Esta solución genera una drástica reducción de la cantidad de piezas con respecto a la solución tradicional, lo cual disminuye la masa por lo que aumenta la densidad de potencia y aumenta de la fiabilidad.

El sistema está equipado con una Unidad de Control Electrónica (ECU) lo cual se encarga de controlar y gestionar todo el funcionamiento y diagnostico en el vehículo.

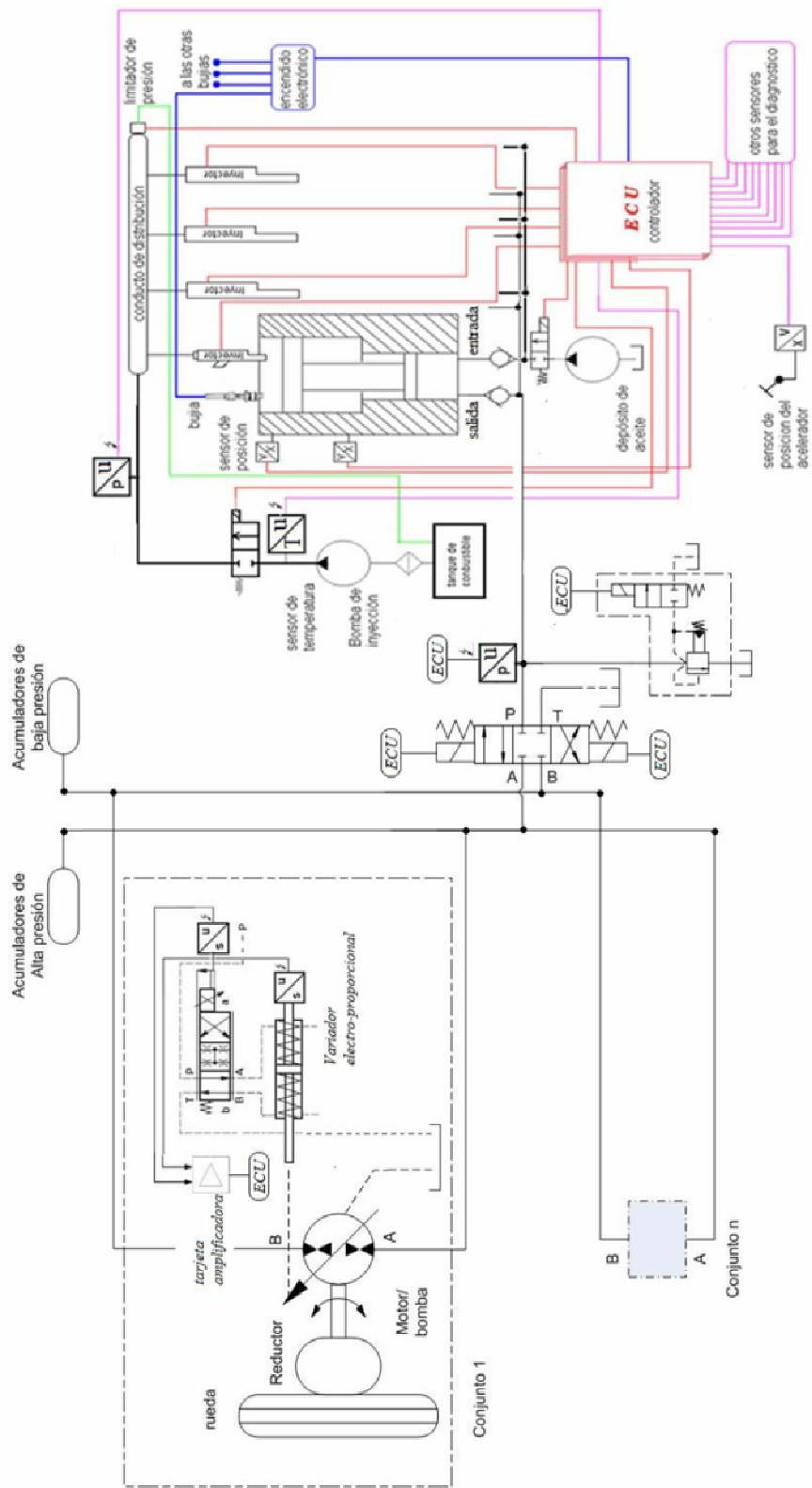


Figura 3 Concepto de la transmisión híbrida hidráulica

2.2 Modelación Matemática

La modelación matemática tiene como punto de partida las variables mostrados en la Figura 4 obtenidos entre otras en el cálculo tractivo, para el cual se requieren conocimientos propios de la teoría del automóvil empleando datos como: velocidad, masa, geometría del vehículo, condiciones de la vía, velocidad del viento, etc.

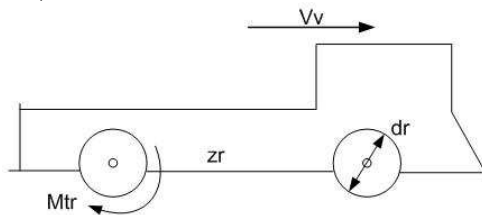


Figura 4 Resultado del cálculo tractivo

Donde.

Vv	Velocidad del vehículo	[m/s]
Mtr	Momento torsor resistivo en la rueda	[N-m]
dr	Diámetro de la rueda	[m]
zr	Cantidad de ruedas motrices	

2.2.1 Cilindrada geométrica del hidromotor.

En términos de Bondgraph [10] un hidromotor de pistones axiales de eje inclinado (Ver Figura 5) es un transformador modulado, ya que los parámetros de la potencia hidráulica los transforma en parámetros de potencia mecánica rotacional, cuyo parámetro de modulación característico es el desplazamiento volumétrico o cilindrada Vg según expresiones que aparecen en [11], con los parámetros que aparecen en la Figura 5 se muestran continuación. Suponiendo máquinas ideales.

$$q_{hm} = \frac{Vg}{2\pi} \cdot \omega_{hm} \quad (1)$$

$$M_{thm} = \frac{Vg}{2\pi} \cdot p_{hm} \quad (2)$$

$$Vg = \frac{\pi}{4} d_c^2 \cdot zc \cdot h \quad (3)$$

Donde:

q _{hm}	Caudal a inyectar en el hidromotor	[m ³ /s]
Vg	Cilindrada geométrica	[m ³]
ω _{hm}	velocidad de rotación del árbol	[rad/s]
M _{thm}	Momento torsor entregado	[N-m]
p _{hm}	presión en la entrada del hidromotor	[N/m ²]
ps	presión en la salida	[N/m ²]

d _c	diámetro de los cilindros	[m]
h	carrera de los pistones	[m]
zc	Cantidad de cilindros	

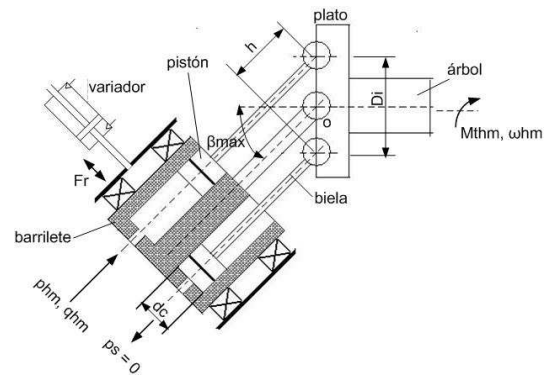


Figura 5 Esquema de un hidromotor de pistones axiales

Analizando la Figura 5 se escribe:

$$h = D_i \cdot \text{sen}(\beta) \quad (4)$$

Sustituyendo (4) en (3) queda:

$$Vg = \frac{\pi}{4} d_c^2 \cdot zc \cdot D_i \cdot \text{sen}(\beta) \quad (5)$$

Donde:

D _i	Diámetro de inscripción de las bielas	[m]
β	Angulo de inclinación del barrilete	[o]
β _{max}	Angulo de inclinación máximo de diseño	[o]

La cilindrada geométrica se puede variar corrigiendo el ángulo de inclinación del barrilete aplicando una fuerza de regulación F_r con el cilindro hidráulico del variador, la cual hace girar al barrilete con respecto al punto o en ambas sentido garantizando que se cumpla (6).

$$-\beta_{max} \leq \beta \leq \beta_{max} \quad (6)$$

Como la finalidad es emplear máquinas volumétricas comerciales entonces el desplazamiento volumétrico hay que relacionarlo con las cilindradas nominales máximas la cual se muestra en los catálogos de los fabricantes, ella se determina por la siguiente relación. Donde la unidad de medida en cm.

$$V_n = \frac{\pi}{4} d_c^2 \cdot zc \cdot D_i \cdot \text{sen}(\beta_{max}) \quad (7)$$

Donde:

V _n	Cilindrada nominal máxima	[cm ³]
----------------	---------------------------	--------------------

Al analizar (5) y (7) se establece como relación entre la cilindrada geométrica y la nominal la expresión siguiente:

$$V_g = 10^{-6} \cdot V_n \cdot \frac{\text{sen}(\beta)}{\text{sen}(\beta_{max})} \quad (8)$$

2.2.2 Momento torsor en el árbol del hidromotor.

Sustituyendo (8) en (2) queda:

$$M_{thm} = 10^{-6} \frac{V_n}{2\pi} \cdot \frac{\text{sen}(\beta)}{\text{sen}(\beta_{max})} \cdot p_{hm} \quad (9)$$

El Momento torsor resistivo en la rueda y el entregado por la maquina volumétrica se relaciona a continuación.

$$M_{thm} = \frac{M_{tr}}{i_{red} \cdot \eta_{red}} \quad (10)$$

Sustituyendo (9) en (10) y despejando de tiene:

$$M_{tr} = 10^{-6} \frac{V_n \cdot i_{red} \cdot \eta_{red}}{2\pi} \cdot \frac{\text{sen}(\beta)}{\text{sen}(\beta_{max})} \cdot p_{hm} \quad (11)$$

Donde:

i_{red} relación de transmisión del reductor de velocidad [-]

η_{red} eficiencia del reductor de velocidad [-]

Una condición que se le impone al sistema es que trabaje con presión constante, es por esto que cuando el momento resistivo en la rueda varié el lazo de control (ver Figura 6) acciona de forma tal que se cumpla (12)

$$p_{hm} = p_{consigna} \quad (12)$$

$$\text{error} = (p_{consigna} - p_{hm}) \quad (13)$$

La medición de presión que entrega el sensor es la que se encuentra en la entrada de la maquina volumétrica. Cuando el error es diferente de cero el controlador (ECU) realiza una acción de control sobre la tarjeta electrónica del variador electro-proporcional de la maquina volumétrica (Ver Figura 3) y esta actúa sobre el solenoide proporcional de válvula V2 por la cual el cilindro del variador regula el ángulo de inclinación del barrilete hasta imponer el ángulo determinado por (14) una vez que se cumple (12). Sustituyendo (12) en (11) y despejando se obtiene:

$$\beta = \text{sen}^{-1} \left(\frac{2\pi \cdot M_{tr} \cdot \text{sen}(\beta_{max})}{i_{red} \cdot \eta_{red} \cdot V_n \cdot p_{consigna}} \right) \quad (14)$$

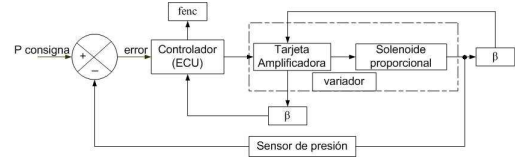


Figura 6 Lazo de control

2.2.3 Caudal a inyectar en el hidromotor.

Se demuestra que:

$$\omega_{hm} = \frac{2 \cdot V_v \cdot i_{red}}{d_r} \quad (15)$$

Sustituyendo (15) y (8) en (1) queda.

$$q_{hm} = 2 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{V_n}{2\pi} \cdot \frac{V_v \cdot i_{red}}{d_r} \cdot \frac{\text{sen}(\beta)}{\text{sen}(\beta_{max})} \quad (16)$$

2.2.4 Caudal entregado por el motor híbrido.

En cada instante el caudal que entrega el motor híbrido tiene que cubrir la demanda considerando la eficiencia volumétrica igual a la unidad se escribe.

$$q_{mh} = z_r \cdot q_{hm} \quad (17)$$

Sustituyendo (16) en (17) se escribe:

$$q_{mh} = 2 \cdot 10^{-6} \cdot z_r \cdot \frac{V_n}{2\pi} \cdot \frac{V_v \cdot i_{red}}{d_r} \cdot \frac{\text{sen}(\beta)}{\text{sen}(\beta_{max})} \quad (18)$$

Donde:

q_{mt} Caudal a entregar por el motor híbrido [m³/s]

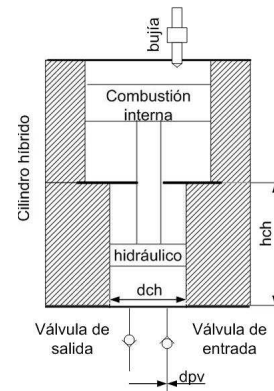


Figura 7 Dimensiones cilindro híbrido

El caudal a entrega por el motor híbrido es igual a la sumatoria del volumen de las cámaras hidráulicas del cilindro híbrido por la frecuencia de encendido de las bujías, entonces.

$$qmh = \frac{\pi \cdot dch^2}{4} \cdot hch \cdot zch \cdot fenc \quad (19)$$

$$fenc \leq [f] \quad (20)$$

Donde:

dch diámetro del cilindro híbrido [m]
hch altura del cilindro híbrido [m]
zch cantidad de cilindros del motor híbrido [-]
fenc frecuencia de encendido de la bujías [Hz]
[f] frecuencia admisible de encendido de la bujías [Hz]

La frecuencia admisible es el inverso del tiempo de llenado admisible.

$$[tll] = ks \cdot tll \quad (21)$$

Donde:

[tll] tiempo admisible de llenado de la cámara hidráulica [s]
tll tiempo de llenado de la cámara hidráulica [s]
ks coeficiente de seguridad [-]

El tiempo de llenado se determina a partir de la ley de continuidad y se escribe como sigue:

$$tll = \frac{\pi \cdot dch^2 \cdot hct}{4 \cdot qct} \quad (22)$$

Donde

qct caudal que ingresa en el cilindro híbrido

El caudal que ingresa en el cilindro es igual al que trasiega por la válvula de entrada del cilindro híbrido que según [12] es igual a:

$$qv = cp \cdot Ap \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\rho}} \quad (23)$$

Donde:

qv caudal a través de la válvula de entrada [m³/s]
cp coeficiente de gasto [-]
Ap área de paso [m²]
Δp caída de presión a través de la válvula [N/m²]
ρ densidad del aceite hidráulico [kg/m³]

dpv diámetro de paso de la válvula de entrada [m]

Sustituyendo (22) y (23) en (21) queda:

$$[tll] = ks \cdot \frac{dch^2 \cdot hch \cdot \sqrt{\rho}}{cp \cdot dpv^2 \cdot \sqrt{2 \cdot \Delta p}} \quad (24)$$

$$[f] = \frac{1}{[tll]} = \frac{cp \cdot dpv^2 \cdot \sqrt{2 \cdot \Delta p}}{ks \cdot dch^2 \cdot hch \cdot \sqrt{\rho}} \quad (25)$$

El caudal máximo a entregar por el motor híbrido se determina sustituyendo en (19) la frecuencia de encendido por la frecuencia admisible (25) y reduciendo queda.

$$qmhmax = \frac{\pi}{4} \cdot zch \cdot \frac{cp \cdot dpv^2 \cdot \sqrt{2 \cdot \Delta p}}{ks \cdot \sqrt{\rho}} \quad (26)$$

Haciendo $\beta = \beta_{max}$ en 18 se obtiene qmtmax e igualando con (26) se obtiene:

$$2 \cdot 10^{-6} \cdot zr \cdot \frac{Vn \cdot Vv \cdot tred}{2\pi \cdot dr} = \frac{\pi}{4} \cdot zch \cdot \frac{cp \cdot dpv^2 \cdot \sqrt{2 \cdot \Delta p}}{ks \cdot \sqrt{\rho}} \quad (27)$$

2.2.5 Potencia.

Para una transmisión ideal la potencia entregada es igual a la consumida y se determina por el producto de la presión por el caudal.

$$Ne = qmh \cdot phm \quad (28)$$

Donde:

Ne Potencia entregada o necesaria [W]

3 Resultados

El resultado obtenido es la primera versión del modelo matemático reducido de la transmisión hidráulica híbrida objeto de este trabajo el cual consta de once relaciones que se muestran a continuación con 22 variables.

$$1. \quad Mthm - 10^{-6} \frac{Vn}{2\pi} \cdot \frac{\text{sen}(\beta)}{\text{sen}(\beta_{max})} \cdot phm = 0$$

$$2. \quad Mtr - 10^{-6} \frac{Vn \cdot tred \cdot \eta_{red}}{2\pi} \cdot \frac{\text{sen}(\beta)}{\text{sen}(\beta_{max})} \cdot phm = 0$$

$$3. \beta - \text{sen}^{-1} \left(\frac{2\pi \cdot Mtr \cdot \text{sen}(\beta_{max})}{i_{red} \cdot \eta_{red} \cdot V_n \cdot p_{consigna}} \right) = 0$$

$$4. qhm - 2 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{V_n}{2\pi} \cdot \frac{V_v - i_{red}}{dr} \cdot \frac{\text{sen}(\beta)}{\text{sen}(\beta_{max})} = 0$$

$$5. qmh - \frac{\pi \cdot dch^2}{4} \cdot hch \cdot zch \cdot fenc = 0$$

(29)

$$6. fenc - k[f] = 0$$

$$7. k = (0..1)$$

$$8. [f] - \frac{cp \cdot dpv^2 \cdot \sqrt{2 \cdot \Delta p}}{ks \cdot dch^2 \cdot hch \cdot \sqrt{\beta}} = 0$$

$$9. qthmax - \frac{\pi}{4} \cdot zch \cdot \frac{cp \cdot dpv^2 \cdot \sqrt{2 \cdot \Delta p}}{ks \cdot \sqrt{\beta}} = 0$$

$$10. 2 \cdot 10^{-6} \cdot zr \cdot \frac{V_n}{2\pi} \cdot \frac{V_v - i_{red}}{dr} - \frac{\pi}{4} \cdot zch \cdot \frac{cp \cdot dpv^2 \cdot \sqrt{2 \cdot \Delta p}}{ks \cdot \sqrt{\beta}} = 0$$

$$11. Ne - qmh \cdot phm = 0$$

4 Discusión

En [13] plantea que en la fase inicial de la investigación el objetivo fundamental de la simulación es ganar conocimientos para concretar el nuevo concepto y la arquitectura del nuevo producto. En esta fase la simulación se emplea más cualitativamente que cuantitativamente se explota como una herramienta de pensamiento. Es por esto que el modelo matemático obtenido es simplificado ya que él se empleara para obtener los prototipos analíticos con los cuales se realiza la simulación en esta primera iteración del método empleado.

Como un prototipo analítico es una aproximación matemática del producto, contienen parámetros que pueden ser variados para estudiar alternativas de soluciones constructivas. Además pueden ser empleados para estudiar tendencias de comportamientos lo que permite conformar el nuevo conocimiento.

Los prototipos analíticas se obtendrán a partir del modelo matemático empleando la técnica de algoritmizar a partir de los grafos dicromáticos [2]. Los resultados obtenidos de los experimentos computacionales permiten entender con más profundidad el nuevo producto e ir refinando el modelo matemático

hasta que tenga determinado nivel de robustez y entonces validarlo.

6. Bibliografía.

1. **Two cars:** same weight, same size, same engine, same traction, same performance, <http://www.innas.com/Asset/files/HYDRID%20brochure.pdf>, **Bajado internet 12 de Julio del 2008**
2. Morejón Vizcaino Genovevo, Primera etapa del proceso de desarrollo de un hidromotor de alto par: Conceptualización y prototipo analítico, Tesis para optar por el Grado Científico de Doctor en Ciencias Técnicas, 2005, Cuba
3. *Formoso Andrés*, Tecnología de automóviles híbridos avanza con rapidez, http://www.nacion.com/ln_ee/2006/noviembre/21/aldea878862.html, **Bajado internet 12 de Julio del 2008**
4. Kazuhiko Miyadera, Automotive News Europe New Powertrain Technologies, Conference, http://www.autonews.com/assets/pdf/07_a ne_ptc/pres_miyadera.pdf, **Bajado internet 12 de Julio del 2008**
5. Híbridos: una opción para el futuro <http://www.motoradiesel.com.mx/actual/contenido/hibridos.htm>, **Bajado internet 12 de Julio del 2008**
6. Los híbridos vienen en camino <http://micolumnaesceptica.blogspot.com/2008/10/los-hbridos-vienen-en-camino.html>] **Bajado internet 12 de Julio del 2008**
7. Chiron, <http://www.innas.com/chiron.html>, **Bajado internet 12 de Julio del 2008**
8. CFPE, <http://www.innas.com/CFPE.html>, **Bajado internet 12 de Julio del 2008**
9. Transformador Hidráulico, <http://www.innas.com/IHT.html>, **Bajado internet 12 de Julio del 2008**
10. Salvador de las Heras, Esteve Codine, Modelización de sistemas fluidos mediante Bondgraph, Terrassa, 1997
11. Joroslav und Monika Ivantysyn, Hydrostatische Pumpen und Motoren, Kontruktion und Berechnung, Editorial Vogel Verlag, Alemania, 1993
12. Nekrasov, B., Hidráulica, Editorial Mir, Moscú, 1968
13. Cómo extraer el máximo valor a la simulación, Research and innovation, s.l, www.rmasi.com/valor.simulacion.pdf, **bajado internet 15 de enero del 2003**

Bibliografía del autor



Se recibió como Ingeniero Mecánico en el 1980, como Máster en Ciencias mención Diseño Mecánico en el 1996 y como Doctor en Ciencias Técnicas en el 2005. Desde 1990 labora

como Profesor del Departamento de Mecánica Aplicada de la Facultad Ingeniería Mecánica, Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echeverría”, Ciudad Habana, Cuba. Es jefe de la disciplina de Mecánica Aplicada de la carrera de Ingeniería Metalúrgica También presta servicios de consultorías y asistencia técnica a la industria. El tema de investigación es Mecatrónica orientada a la Oleohidráulica. Ha participado como ponente y conferencista en varios eventos científicos. Es autor de varias monografías. Tuvo una estancia como investigador invitado en la Universidad de Castilla la Mancha, España.