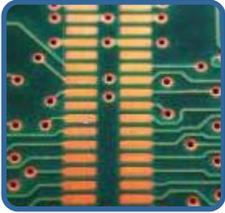


Investigaciones



Robótica móvil: una aproximación preliminar

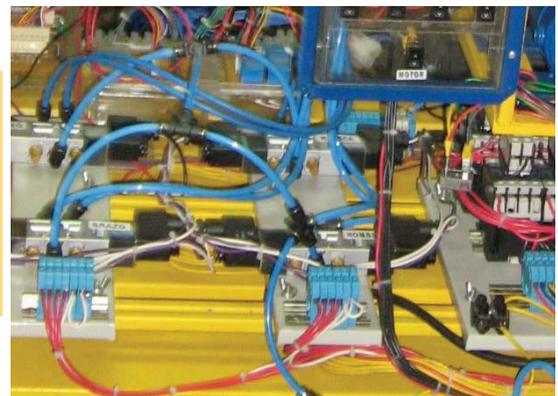
Milton Javier Muñoz Neira

* Ingeniero electrónico, Especialista en automatización industrial, Director Programa de ingeniería electrónica de UNISANGIL, mmunoz@unisangil.edu.co

Resumen

El presente artículo hace una presentación general de uno de los campos de mayor interés actual para la ingeniería: los robots móviles. Se parte de una conceptualización de términos, para luego pasar a una exposición de la estructura básica de los robots móviles y sus posibles campos de aplicación.

Palabras clave: Agente, Robot Móvil, Captador, Efector, Localización, Planificación.



1. INTRODUCCIÓN

La robótica es sin duda uno de los campos de mayor desarrollo a nivel científico y tecnológico. A nivel científico es el área de experimentación de los sistemas inteligentes (emuladores o portadores de inteligencia propia) y a nivel tecnológico es el espacio de evolución de la automatización clásica hacia el control inteligente, con el cual se ha logrado que las máquinas puedan tomar decisiones de mediana y alta complejidad (vgr. como las necesarias para realizar con éxito una cirugía) en fracciones de segundo y con precisión milimétrica. Sus avances, en opinión de los Fellow Members de la IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) marcarán, junto con la mega computación, la nanotecnología y la ingeniería biomolecular, el progreso tecnológico de las próximas décadas, y, por ende, de la ingeniería.

Este interés mundial por el estudio y desarrollo de robots se hace evidente al detallar los trabajos de los centros de investigación más prestigiosos del mundo. En efecto, las mejores Universidades del planeta, catalogadas por el Center for World Class Universities de la Universidad de Shanghai Jiao Tong (China), cuentan entre sus centros de investigación con importantes grupos de trabajo en robótica, entre los cuales se destacan:

- Harvard School of Engineering and applied Sciences: Microrobotics laboratory and Biorobotics laboratory
- University of California - Berkeley/ College of Engineering: Center for intelligent Systems-
- Stanford University: Robotics Laboratory.
- Columbia University: Columbia University Robotics group
- Oxford University/Engineering Science: Research degree - Robotics and sensor Systems.
- MIT: Robotic and artificial intelligence laboratory.

Estos centros elaboran estudios que implican el modelado, simulación y puesta en marcha de robots móviles, manipuladores o robots híbridos.

Para clarificar estos términos, y poder profundizar en la estructura de un robot móvil, es necesario intentar establecer una definición.

2. DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN

a. Definición.

Un robot es, en esencia, un agente físico inteligente. Por agente se puede entender todo sistema compuesto por una arquitectura y un programa (Russell [3]) (Ver figura 1)

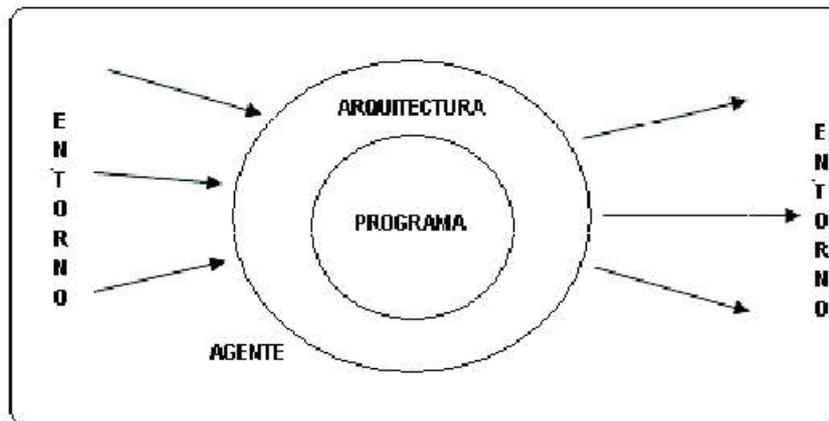


Figura 1. Esquema Gráfico de un Agente

Desde esta perspectiva, una computadora, por ejemplo, es un agente: el hardware representa su arquitectura y el software alberga su programación. Sin embargo, un software por sí solo puede entenderse también como un agente. su arquitectura estaría representada por el paradigma de programación empleado y el programa del agente lo conformarían las líneas de código. El agente descrito deberá referirse entonces como un agente software.

Un agente físico, en cambio, como pueden serlo un animal o un robot, requiere de una arquitectura física, tangible, para comunicarse con el entorno o con otros agentes. Un agente software, por su naturaleza, puede comunicarse con otros agentes o con el entorno (red de datos) sin que él mismo posea una representación física.

La inteligencia del agente estará dada por la capacidad de aprendizaje, inferencia lógica y raciocinio que le da el programa. Desde luego, éste no podrá funcionar de manera óptima si la arquitectura (sensores - efectores) no le brinda una representación idónea del entorno o si no actúa de manera adecuada con el mismo.

b. Clasificación

Una primera clasificación de los robots puede hacerse teniendo en cuenta si su arquitectura está anclada a una plataforma fija (manipulador) o si por el contrario, la arquitectura se relaciona con una plataforma móvil (Robot Móvil).

La combinación de ambos tipos de robots formaría un Robot Híbrido, como por ejemplo una prótesis o un humanoide.

Una sub clasificación es posible si se atiende el campo de aplicación (GARCIA [1]). La tabla 1 sintetiza este orden:

Tabla 1. Clasificación de los robots

ROBOT MANIPULADOR	Robots Industriales
	Robots Para Aplicaciones Médicas
	Robots Para Aplicaciones en Rehabilitación.
ROBOT MÓVIL	Móviles Terrestres Autónomos.
	Móviles aéreos Autónomos.
	Móviles Subacuáticos Autónomos.
HÍBRIDOS	Caminadores (Bípedos Hexápodos)
	Humanoides

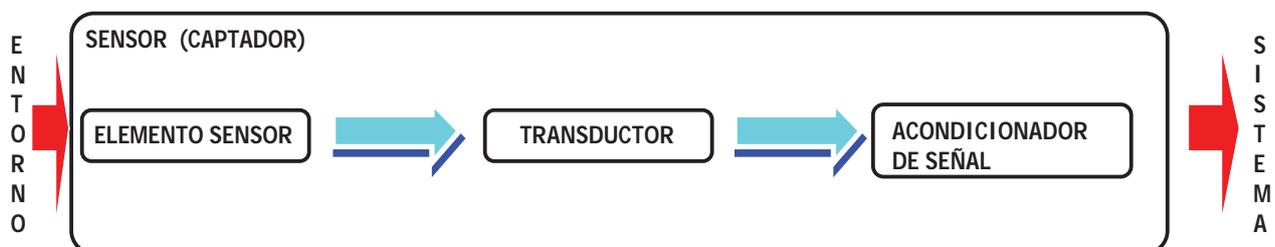
3. ESTRUCTURA DE UN ROBOT MÓVIL.

Por su naturaleza, los robots móviles cumplen tareas relacionadas con localización, mapeo, planificación y de manera general navegación en un espacio determinado, por tierra, aire o agua. La navegación eficiente de la plataforma requiere de una representación del entorno y de una actuación sobre el medio eficiente. La lectura del entorno se hace por medio de sensores, y la acción sobre el mismo por medio de efectores.

a. Sensores

Por sensor se entiende el conjunto de elemento sensor, transductor y acondicionador de señal (ver figura 2), que permite captar las características del medio e incorporarlas a un sistema. Este conjunto es denominado técnicamente Captador.

Figura 2. Sensor (Captador)



La lectura adecuada del entorno incorpora en el robot la información necesaria para realizar una navegación segura (detección de obstáculos), seguir una ruta en el mapa del entorno (planificación), y saber con exactitud su posición en el medio donde se encuentra (localización). Esta información garantiza un aprendizaje rápido y seguro del agente.

Dentro de las características deseables de los sensores se encuentran:

- Precisión.
- Amplio Rango de Medida.
- Inmunidad al Ruido.
- Robustez (Inmunidad a las Vibraciones Mecánicas).
- Bajo consumo de energía.

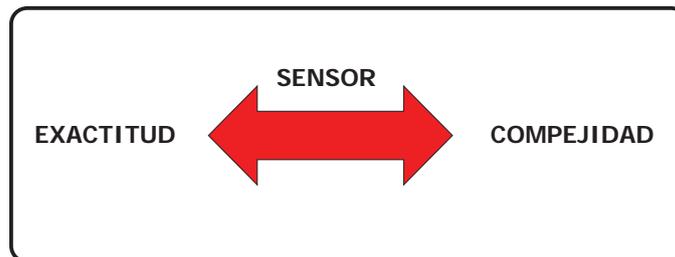
La clasificación de los mismos puede realizarse a partir de su principio físico de funcionamiento o de las variables físicas que se deben medir. La tabla 2 muestra la clasificación de algunos captadores útiles para las plataformas móviles, teniendo en cuenta si son emisores de energía activos o receptores de energía pasivos.

Tabla 2. Clasificación de Sensores para Robots Móviles

TIPO	SENSOR	USO
Activo	Laser (SICK LMS)	Medir Distancia a Objetos. Representación del Entorno.
Activo	Ultrasonido (SRF08)	Medir Distancia a Objetos. Representación del Entorno.
Activos	Infrarrojo (GP2D02/CNY70)	Detectar Obstáculos, Odometría (Medir Distancia Recorrida)
Activo	GPS	Ubicación Geográfica del Robot.
Pasivo	CCD(Cámara)	Representación del Entorno.
Pasivos	Giroscopios (ADXRS150)	Posición del Robot.
Pasivos	Aceleró-metros (ADXL 202)	Medición de Movimiento, Vibraciones e Inclinación.
Pasivos	Micro interruptor	Detección de Obstáculos
Pasivos	Presión (MPX2100)	Medición Indirecta de Fuerza.

La selección debe fundamentarse en el tipo de aplicación deseada y en el equilibrio entre exactitud en la medida y complejidad en el procesamiento de las señales adquiridas (Figura 3), donde por exactitud se asume la precisión propia del dispositivo, en asocio con las demás características deseables del mismo.

Figura 3. Criterio de Selección de Sensores.



b. Efectores

El efector es el dispositivo físico que permite que las acciones del robot se transfieran al entorno. El efector por excelencia para las plataformas móviles, es un motor eléctrico de D.C (Servomotor o Motor PAP). Para las diversas aplicaciones, es preciso que el motor posea baja inercia, alto torque y bajo consumo de energía.

Los efectores garantizan los grados de libertad de la plataforma. Un grado de libertad implica el movimiento en una dirección específica del agente. Si todos los grados de libertad son controlables, se dice que el robot es holonómico. Así, la configuración de una plataforma tipo triciclo (una rueda para dirección y dos para tracción), tendrá dos grados de libertad controlables, si cuenta con dos efectores (uno para dirección y otro para tracción). Sin embargo, los grados de libertad efectivos son tres: la plataforma puede moverse adelante, atrás y girar. En consecuencia, este tipo de robot es no holonómico.

El control de plataformas holonómicas es más sencillo que el de plataformas no holonómicas. En efecto, para la configuración triciclo, el control sería más natural si las dos ruedas de tracción tuviesen un motor independiente.

c. Tareas de un Robot Móvil

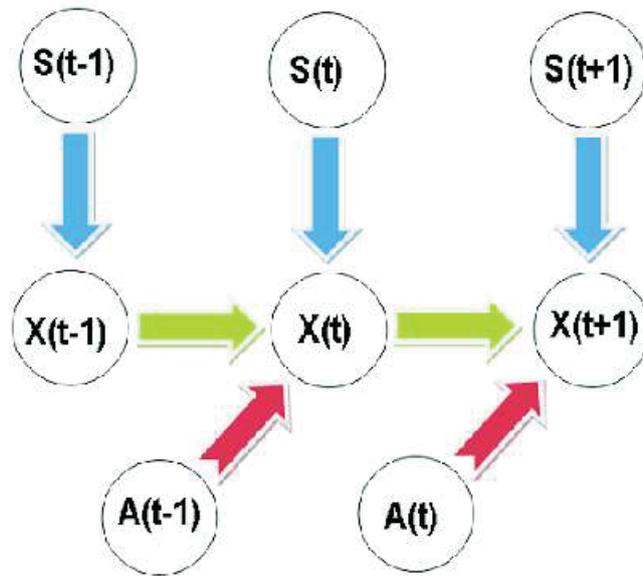
El objetivo principal de la localización en un robot móvil es establecer con precisión dónde se encuentra éste, dentro del entorno por el cual se desplaza. Este objetivo sería fácil de alcanzar si los sensores brindaran una información exacta del entorno. Pero los entornos son de manera general, parcialmente observables y dinámicos, lo que ocasiona que la señal que entregan los captadores posea ruido y acumulación de errores de medida.

Esta circunstancia hace que el robot sólo pueda realizar una estimación probabilística del medio, y que por ende las variables sensadas deban manejarse como variables aleatorias.

La estimación del estado siguiente (nueva localización del robot) puede modelarse a través de una Red Bayesiana (Ver Figura 4).

En una red bayesiana, la probabilidad de alcanzar el siguiente estado ($X(t+1)$), dado que se han realizado unas acciones previas ($A(1$ a $t)$) y se ha captado una información del medio ($S(t+1)$), depende directamente de la probabilidad de que se esté en el instante presente ($X(t)$), dado que se han realizado unas acciones y unas observaciones previas en y desde el entorno ($A(1$ a $t-1)$, $S(1$ a $t)$).

Figura 4. Red de Bayes



Una Red de Bayes es, en síntesis, un método recursivo para estimar el estado futuro del robot $[P(X(t+1) | S(t+1), A(1:t))]$, a partir del conocimiento acumulativo de los estados y las observaciones anteriores y de la lectura presente de los sensores $[P(X(t) | S(1:t), A(1:t-1))]$.

Sin embargo, el número de estados anteriores puede ser ilimitado y, en consecuencia, la implementación computacional de una Red de Bayes podría ser totalmente impráctica, toda vez que los recursos de memoria se incrementarían de manera cuadrática con el número de puntos de referencia previos a la localización actual del robot que se hayan tomado en cuenta para la determinación del estado presente.

En la praxis, las redes de Bayes se implementan por medio de aproximaciones a través de los algoritmos Filtro de Kalman Extendido, Localización de Markov y Monte Carlo.

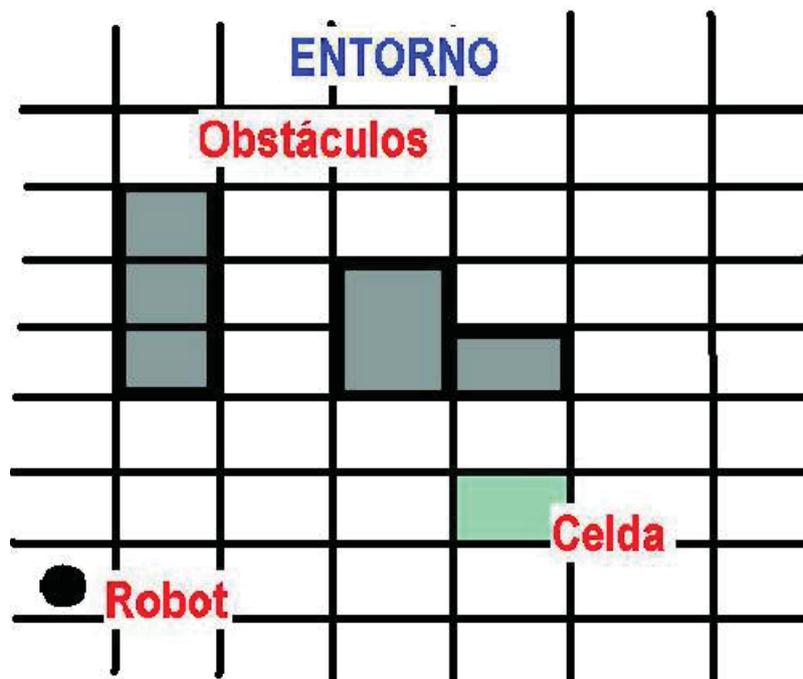
El método de Markov, por ejemplo, parte del supuesto de que la probabilidad del estado actual del robot puede determinarse a partir de un número finito de estados anteriores. De esta forma, el estado del robot es modelado por medio de una distribución gaussiana multimodal, lo cual implica que el robot actualice a cada instante de tiempo la distribución probabilística de sus posibles localizaciones dentro del entorno, de tal suerte que a cada momento el agente posee una creencia sobre su localización. El algoritmo de Markov opera cuando el robot se mueve (modelo del movimiento), como cuando el robot realiza una medida con sus captadores (modelo de percepción).

La localización está, de modo inherente, ligada a la generación de mapas. Tarea que conlleva la localización de diversos objetos en el entorno. De aquí que los dos campos se estudien simultáneamente en lo que se conoce como SLAM (simultaneous localization and mapping). Por tanto, el problema de la generación de mapas puede abordarse aplicando el modelo Bayesiano, en particular, los Filtros de Kalman Extendidos, que son aproximaciones a la red de Bayes por medio del uso de una distribución gaussiana multivariada, y que por su naturaleza requiere linealizar el modelo del movimiento y el modelo de percepción. El modo común de llevar a cabo dicha linealización es la expansión de Taylor.

Ahora bien, la localización y el mapeo son los componentes fundamentales de la principal tarea de un robot móvil: la navegación. La navegación tiene que ver directamente con la cognición del robot, y con el éxito en el objetivo final que se le haya trazado al mismo. La navegación del agente requiere de dos elementos básicos: Planificación del Movimiento (estrategia para hacer efectivo el movimiento de un punto a otro) y Evasión de Obstáculos. Estos elementos dictaminan el tipo de orden que se le dará a los efectores (motores) para realizar los movimientos.

La Planificación, de manera general, se aborda desde dos perspectivas: la descomposición en celdas y la esqueletización. La primera divide el entorno del robot en un número finito de celdas, continuas unas de las otras (Ver figura 5), lo cual permite generar un campo de potencial como función del entorno, el cual incrementa su valor con la cercanía a un obstáculo, y lo decrementa en espacio libre. La segunda perspectiva modela el entorno del móvil en una representación de una sola dimensión (esqueleto) con el ánimo de simplificar el proceso de planificación.

Figura 5. Descomposición en Celdas del entorno del Robot.



4. CAMPOS DE APLICACIÓN

La localización y la planificación, como tareas del robot, son realizadas para cumplir un objetivo específico, objetivo que define el campo de aplicación del agente.

Para el 2007 se estimaba que el sector de la robótica movía alrededor de 11 billones de dólares a nivel mundial (especialmente en aplicaciones industriales), y conforme estimaciones de la Asociación Japonesa de Robótica, en el 2025 esa cifra superaría los 66 billones de dólares, en aplicaciones prioritariamente no industriales (Cherry [6]).

En efecto, la Federación Internacional de Robótica calcula un gasto mundial de 5.6 millones de dólares, entre el 2005 y el 2009, en desarrollo de aplicaciones domésticas y de entretenimiento (Cherry [6]).

Lo anterior indica que la línea de avance de la robótica, y en consecuencia de los robots móviles, apunta al desarrollo de agentes para proveer servicios.

Así, de la robótica móvil se esperan progresos en el adelanto de:

- Robots Exploradores.
- Robots Domésticos.
- Robots para Seguridad.
- Robots para Construcción.
- Robots para la Agricultura.
- Robots Guías.
- Robots Personales (Entretenimiento).

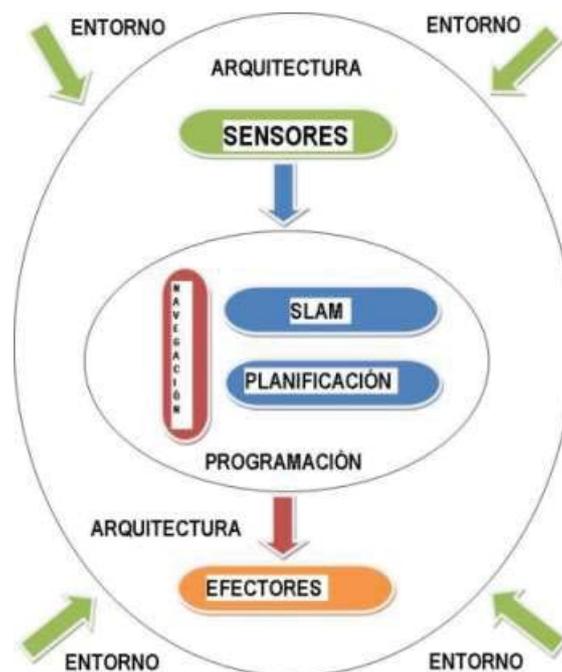
La aplicación real determinará finalmente la estructura del agente (arquitectura + programa).

El desarrollo de una plataforma para movimiento en cultivos de ladera, por ejemplo, entorno que es parcialmente observable, estocástico, secuencial y semidinámico, sería mas idóneo si se diseñara a partir de caminadores (vgr. un hexápodo), lo cual, aunque facilitaría la locomoción, haría mas complejo el diseño mecánico y la planificación e incrementaría el consumo de energía. Con todo, para terrenos abruptos, los móviles caminadores son la primera alternativa de trabajo, existiendo sin embargo desarrollo con ruedas (A. Oida [8])

4. A MODO DE CONCLUSIÓN

Un robot móvil es un agente físico cuya arquitectura está compuesta por un conjunto de captadores (sensores), efectores (motores) y controladores de movimiento que para su programación requiere de algoritmos de localización, elaboración de mapas y planificación (Ver figura 6).

Figura 6. Estructura de un Robot Móvil



La programación del agente puede elaborarse a partir de análisis probabilístico, considerando las variables leídas del entorno como variables aleatorias.

Sin embargo, es la aplicación real la que determinará la programación que es necesaria y viable. Así, por ejemplo, para el desarrollo de plataformas móviles que se desplacen por terrenos abruptos, la navegación podría, dada la complejidad que el análisis probabilístico implica para estos casos, hacer uso combinado de técnicas probabilísticas y técnicas de inteligencia artificial moderna, como redes neuronales, algoritmos genéticos, lógica difusa o control reactivo, que pueden resultar más sencillas en su implementación pero igualmente efectivas, pues es el robot, en el entorno real, quien fija los parámetros de diseño que deberán finalmente tenerse en cuenta.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] GARCÍA. E., JIMENEZ M., GONZALES. P., ARMADA., M. "The Evolution of Robotic Research", IEEE Robotics and Automation Magazine, Vol. 14, No 1, pp. 90 -103, March 2007.
- [2] SIEGWART R., NOURBAKHSH, I., "Introduction to Autonomous Mobile Robots", 1ª Ed. Massachusetts: MIT Press, 2004. 336 p.
- [3] RUSELL S., NORVING, P. "Inteligencia Artificial - Un Enfoque Moderno", Segunda Edición. Madrid: Pearson Education, 2004. 1212 p.
- [4] OLLERO A. "Robótica - Manipuladores y Robots Móviles". Primera Edición. Barcelona: Alfaomega Marcombo, 2007. 447 p.
- [5] LÓPEZ, E., BAREA, R., BERGASA, L.M., ESCUDERO, M.S., "Aplicación del método de Markov a la localización de un robot móvil en entornos interiores" Departamento de Electrónica, Universidad de Alcalá. [Disponible online] En: <http://www.depeca.uah.es/personal/elena/docs_tesis/saaei02.PDF>, 4 p.
- [6] CHERRY S. "Robots, Incorporated microsoft's best and brightest are quietly trying to bring robotics into the mainstream", IEEE Spectrum Magazine, August 2007, pp 18-23.
- [7] Colciencias. "Plan Estratégico Programa Nacional de Electrónica, Telecomunicaciones e Informática 2005 - 2010". Bogotá: Imprenta Nacional de Colombia, 2005. 100 p.
- [8] OIDA, A., SHIMIZU, H., MIYASAKA, J. FUJIMOTO H., IBUKI T. "Study of performance of a Model Electric Off road - vehicle", Agricultural Engineering International, the CIGR Journal, Volumen 4, [Disponible online] En: <<http://cigr-ejournal.tamu.edu/submissions/volume4/PM%2001%20008%20Oida%20final%2030Oct2002.pdf>> 8 p.