

KoalaBot: Ingeniería Mecatrónica en la Universidad de Oviedo

Juan Díaz*, Francisco J. Alvarez**, Jose M. Sierra**, Alberto Martín* y Fernando Nuño*
Universidad de Oviedo – Area de Tecnología Electrónica* Area de Ingeniería Mecánica
Campus de Gijón, C./Pedro Puig Adam Bloques 3 y 5

Abstract—El Máster *Erasmus Mundus* de la Universidad de Oviedo en Ingeniería Mecatrónica (eu4m) abarca las disciplinas de ingeniería mecánica, fabricación, electrónica y automática. Está dirigido a graduados/ingenieros en ingeniería, de las especialidades eléctrica y mecánica. El objetivo del mismo no es otro que el diseño conjunto desde el punto de vista mecánico, electrónico y de control de máquinas y sistemas. En este artículo se muestran los resultados y experiencias docentes de un trabajo fin de máster que reúne las disciplinas anteriormente mencionadas. El prototipo construido se puede considerar como una herramienta multipropósito, capaz de subir de forma autónoma por postes cónicos. Las aplicaciones son muy variadas, desde vigilancia —vía cámaras Wifi— señalización, iluminación, etc

Index Terms—Mecatrónica, Robótica Industrial, prototipos,

asignaturas: un brazo robótico y un pequeño robot recoge pelotas, guiado por visión artificial.

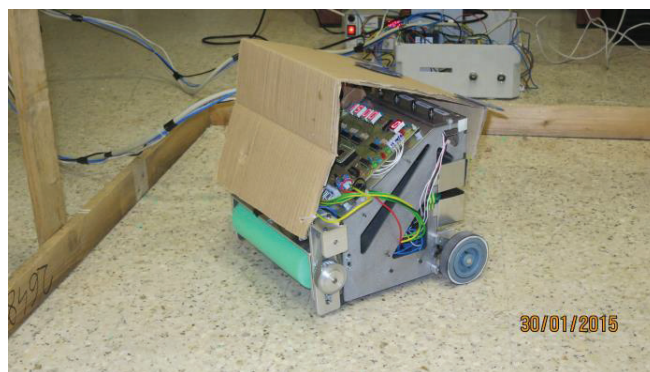


Figura 1: Recoge pelotas guiado por visión artificial

I. INTRODUCCIÓN

EL Máster en Ingeniería mecatrónica de la Universidad de Oviedo (EU4M) tiene un carácter eminentemente práctico; se imparte de forma conjunta con la “Hochschule Karlsruhe - Technik und Wirtschaft” en Karlsruhe, Alemania y con la “E.N.S. de Mécanique et des Microtechniques” en Francia. Los alumnos deben cursar sus estudios en dos de estos tres centros, en los que cada uno ofrece un perfil diferente, y cuenta además con Universidades asociadas al mismo en diferentes países como Egipto (Nilo University), Rusia (Ivanovo), etc. La Universidad de Oviedo ofrece un perfil de “Mecatrónica Industrial”, en la que se persigue el diseño conjunto de equipos de aplicación industrial, abarcando campos como la robótica industrial. Este perfil se materializa no sólo en el trabajo fin de máster, sino que está presente en el resto de asignaturas que deben cursar en el mismo, en las cuales se persiguen habilidades tales como trabajo en equipo, planificación, etc. basadas en la ejecución de proyectos de cierta complejidad. Para ello, los medios disponibles con los que cuentan los alumnos van desde impresoras 3D, fresadoras, corte por láser, etc y en el campo de la electrónica y automática, equipos de desarrollo de microcontroladores, laboratorio de PCBs, simuladores, cámaras para visión artificial, entre otros. En las figuras 1 y 2 se pueden observar algunas de las máquinas/prototipos realizados en las distintas



Figura 2: Brazo robótico equipado con rotulador, capaz de escribir o dibujar mensajes y figuras sencillas

II. OBJETIVOS DEL KOALABOT

El presente trabajo se realizó en forma de Trabajo de Fin de Máster en la Universidad de Oviedo: el objetivo es conseguir una plataforma capaz de escalar por postes tronco cónicos,

soportando un peso de 25Kg. En la plataforma se prevé instalar diferentes equipos:

- Sensores: medida de temperaturas, luminosidad, climatológicos
- CámarasWifi, dotadas de Pan&tilt
- Actuadores diversos: pintura de postes, alumbrado
- Pantallas de LEDs, juegos de luces, etc

Se establece que la comunicación debe realizarse de forma inalámbrica. Las aplicaciones de un robot de este tipo van desde vigilancia, control de tráfico, inspección de tuberías [5] señalización, hasta labores de mantenimiento, por ejemplo en alumbrado público. Cambiar una bombilla de una farola, implica la utilización de grúas, interrupción de tráfico, permisos especiales, etc. Si se tiene un dispositivo capaz de subir hasta la luminaria y cambiar la bombilla, todos esos costes se reducen de forma drástica.

Existen otros robots similares con el mismo objetivo o similares: subir postes, escalar paredes [1][4], la mayoría de ellos en aplicaciones orientadas a vencer obstáculos o moverse por estructuras complejas [2][3]. La mayoría de los “escaladores” están basados en modelos de artrópodos [7], y están pensados para trepar por muros o paredes, bien sea utilizando sistemas de tipo oscilante [4], basados en vehículos militares [6], o incluso utilizando materiales adhesivos [1].

En la figura 3 se muestra en un diagrama de bloques las distintas partes que compondrán el KoalaBot, dependiendo de las funcionalidades con las que se quiera dotar

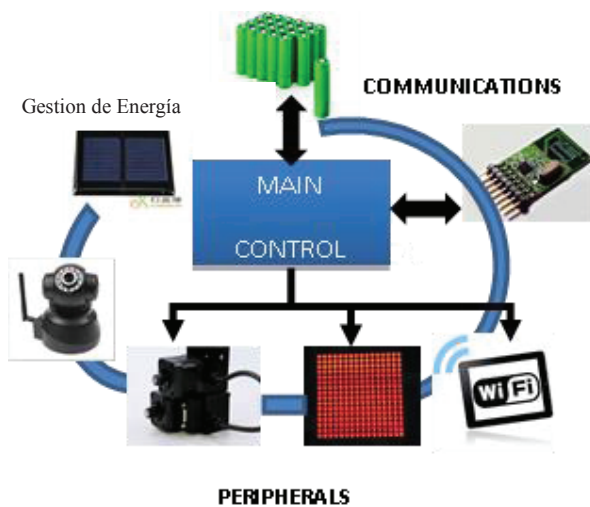


Figura 3: Diagrama de bloques del Koala; se contempla la alimentación por medio de paneles solares

Resulta obvio que el dispositivo debe de tener un peso lo más reducido posible, por lo que se ha de prestar especial atención a reducir los consumos al mínimo; por otro lado, debe incorporar las seguridades tanto a nivel *hardware* como *software* de manera que se asegure que no se desplome ante imprevistos, garantizando así un funcionamiento totalmente seguro.

III. DISEÑO INICIAL

En el diseño del prototipo deben tenerse en cuenta aspectos tales como el montaje en el poste, el cual debe realizarse de forma cómoda y rápida. De igual forma, debe preverse la colocación de los dispositivos de control, accionamientos, etc, de forma que la plataforma esté debidamente compensada y al subir no se desequilibre. Es preciso por tanto, tener en cuenta las especificaciones de potencia, peso de los distintos componentes, distribución de los mismos, etc.

En la figura 4 se puede observar la estructura propuesta: consta de placas con forma de media luna, ambas forman un círculo, el cual en su parte central, se “abraz” al poste por medio de tres patines, de dos ruedas cada uno. La estructura está prevista de forma que se pueda abrir y rodee al poste de forma rápida, sin utilizar herramientas específicas.

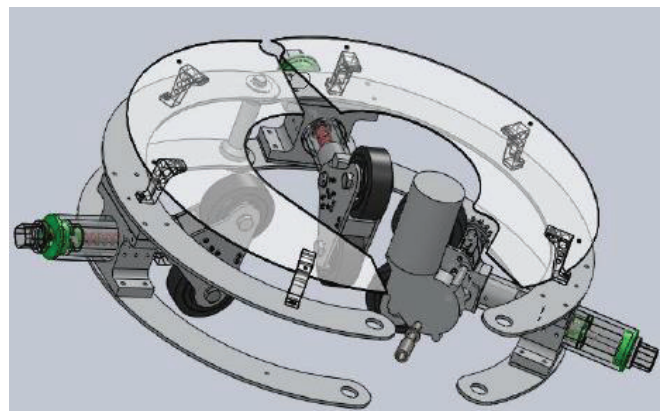


Figura 4: Plataforma de ascenso, formada por dos estructuras en media luna con un punto común que hace de bisagra

Como se puede advertir, los tres patines están situados a 120°, uno de ellos proporciona la tracción, mientras que los dos restantes son pasivos. En los extremos de los brazos se han incluido dispositivos que permiten ajustar la presión del patín sobre el poste. La transmisión del motor al patín tractor se realiza por medio de una cadena

Los datos que servirán para desarrollar el accionamiento preciso son los siguientes:

- Masa del diseño mecánico: 10.291 g
- Masa total M_t , con cadenas, motor y baterías:
 $M_t = 10.291 + 200 + 1.500 + 2500 = 14.491 \text{ g}$
- Velocidad de ascenso: 5,65 m/minuto.
- Capacidad de carga: 10.5 Kg

Con estas premisas, el motor preciso debe cumplir:

- Alimentación a 12V dc, 5A nominales
- 5Nm de par nominal y 25Nm de par de arranque. 40 rpm.
- 60W de potencia máxima, con 20W de potencia nominal.

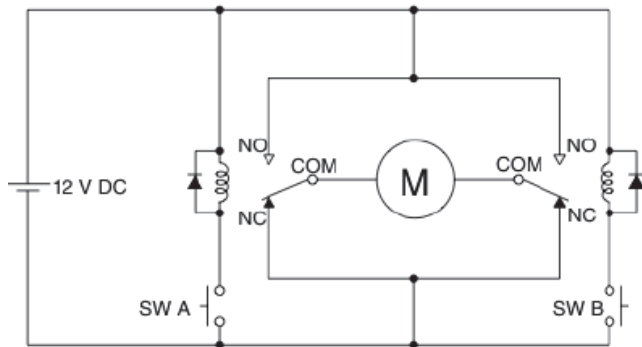


Figura 5. Puente en H implementado con relés

Este motor se accionará por medio de un puente en H formado por relés, tal y como se muestra en la figura 5 para tener capacidad de invertir el sentido de giro o detener el motor.

Lógicamente, dado que en la plataforma existirán diversos sensores, actuadores, etc, es preciso equiparla con un controlador que recoja los mensajes enviados desde la base, ejecute las órdenes, gestione los mensajes salientes etc. En este caso, se ha optado por un microcontrolador PIC.

IV. DISEÑO ELECTRÓNICO Y CONTROL DE LA PLATAFORMA

Las especificaciones de partida para el diseño electrónico son las siguientes:

- Control del movimiento del robot.
- Lectura y manipulación de distintas señales de sensor.
- Control de otros dispositivos electrónicos integrados.
- Transmisión/recepción de señales o datos inalámbricamente o por cable serie.
- Fácilmente reconfigurable y ampliable.
- Alimentación en el rango de 7 a 14 voltios

El prototipo debe ser controlado de forma inalámbrica desde el puesto base, lo que lleva la necesidad de realizar un mando a distancia que permita dicho control. En el caso que nos ocupa, se ha optado por la realización de un mando “a medida”, comunicado por radiofrecuencia, tal y como se muestra en la figura 6. Es posible implementar la comunicación vía Bluetooth, y utilizar como mando remoto un teléfono móvil; en este caso, sólo sería preciso realizar un pequeño programa o “app” para cargar en el celular y enviar los comandos vía el protocolo Bluetooth. Existen multitud de conversores o “interfaces” RS-232 al citado protocolo, lo cual facilita la comunicación con los microcontroladores instalados en el mando remoto y la plataforma.

Se ha implementado el control del motor tipo ON-OFF, sin control de velocidad, sobre un motor de 12 VDC. La potencia se ajusta para el peso y especificaciones de velocidad anteriores. La energía la aportan baterías de Ni-Cd, las cuales suman 14 V y suministran 13Ah. Dado que el consumo del

motor puede ser de 5 amperios, se garantiza una autonomía de más de 2 horas.

Se han incorporado en la plataforma además:

- Dos relés de 20 amperios /12 voltios; están conectados según el esquema de la figura 4, un puente en H. Se gobiernan con otros dos relés de menor capacidad.
- Seis relés de 2A 5V, utilizados dos de ellos para el gobierno del puente en H y el resto para futuras aplicaciones.
- Una salida RS232, adaptada a niveles TTL oportunamente por el interface MAX232. En el caso actual, se

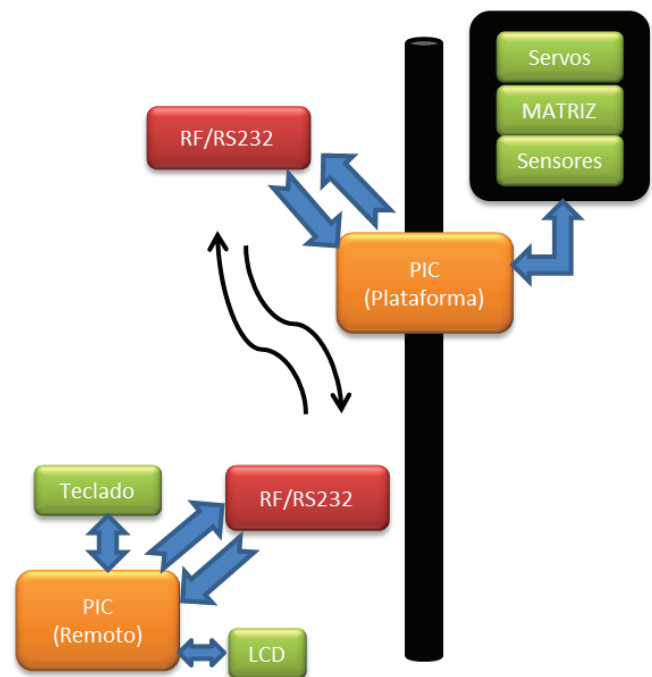


Figura 6. Diagrama de bloques del prototipo implementado. Dos microcontroladores comunicados vía RF; es posible utilizar otros protocolos: bluetooth, por ejemplo.

utiliza para gobernar una unidad Pan&Tilt que controla una cámara de vídeo.

- Comunicaciones serie, que gobiernan el enlace inalámbrico seleccionado: RF, Bluetooth, etc
- Sensor y medida de la carga de la batería.

En lo que se refiere al mando de control remoto, se han incorporado una pantalla de LCD, que facilita el manejo de la plataforma, además de los controles mínimos precisos: subida/bajada, control del Pan&Tilt de la cámara, medida de la tensión de la batería. Gracias al microcontrolador, la funcionalidad de este mando se puede aumentar sin más que modificar el software residente en el mismo.

V. PROTOTIPO CONSTRUIDO

En las figuras adjuntas pueden verse algunas de las Figuras del prototipo construido, utilizando materiales de bajo coste (metacrilato y aluminio), así como del mando remoto implementado. Se muestra el KoalaBot con diferentes dispositivos instalados: cámaras WiFi y un rótulo informativo o publicitario implementado mediante matrices de leds.

En la Figura 7, se pueden advertir diferentes elementos del KoalaBot: Motor, patines, cadena de transmisión al patín activo y la caja de control, que incluye el módulo de recepción RF, accionadores, y microcontrolador.



Figura: 7 Vista inferior del KoalaBot, en la que se pueden apreciar distintas partes del mismo

En la Figura 8, puede observarse el mando remoto construido.



Figura 8 Mando remoto del KoalaBot

VI. RESULTADOS EXPERIMENTALES

Se han realizado numerosos ciclos de subida/bajada con diferentes cargas y se han extrapolado los resultados para diferentes valores de carga transportada, número de ciclos, etc. Los resultados se pueden ver recogidos en las gráficas siguientes. En ellas se muestra la energía consumida en función de la carga cuando sube un poste de 8 metros; en la segunda gráfica, se puede obtener una idea de la autonomía del Koala, presentando el número de metros o postes subidos en función de la carga transportada. Es evidente que estos parámetros se pueden mejorar sin más que aumentar el número de baterías instaladas; a efectos de la estimación de consumo, obviamente, el mayor consumo (cerca de un 90%-95%) es debido al motor; el resto, depende de los periféricos que se hayan instalado, su empleo etc

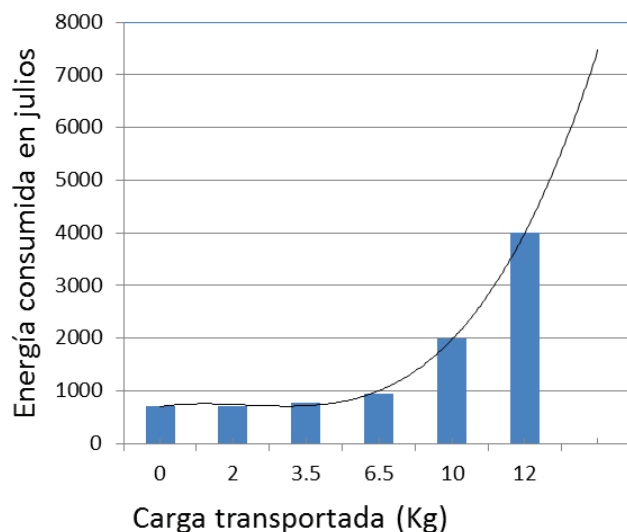


Tabla 1: Energía consumida en función de la carga

función de la carga transportada. Es evidente que estos parámetros se pueden mejorar sin más que aumentar el número de baterías instaladas; a efectos de la estimación de consumo, obviamente, el mayor consumo (cerca de un 90%-95%) es debido al motor; el resto, depende de los periféricos que se hayan instalado, su empleo etc

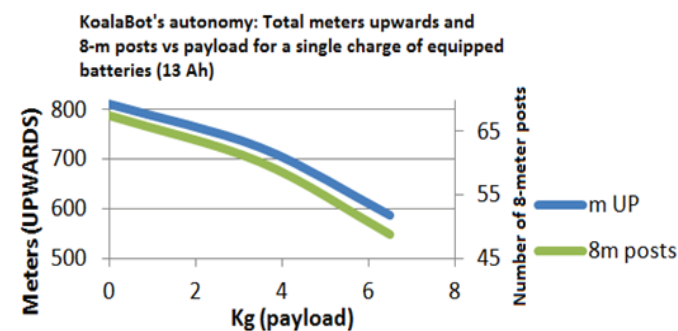


Gráfico 2: Autonomía del KoalaBot

En este tipo de equipos, dotados de un motor eléctrico, resulta importante desacoplar adecuadamente la alimentación del mismo, por los picos de consumo del mismo; la solución pasa por el empleo de condensadores de alta capacidad para filtrar el consumo. En un equipo como el diseñado, resulta esencial aprovechar el espacio al máximo, lo cual es incompatible con la inclusión de componentes voluminosos.

En el caso de KoalaBot, el consumo del motor y la corriente se muestran en las formas de onda de la figura 9

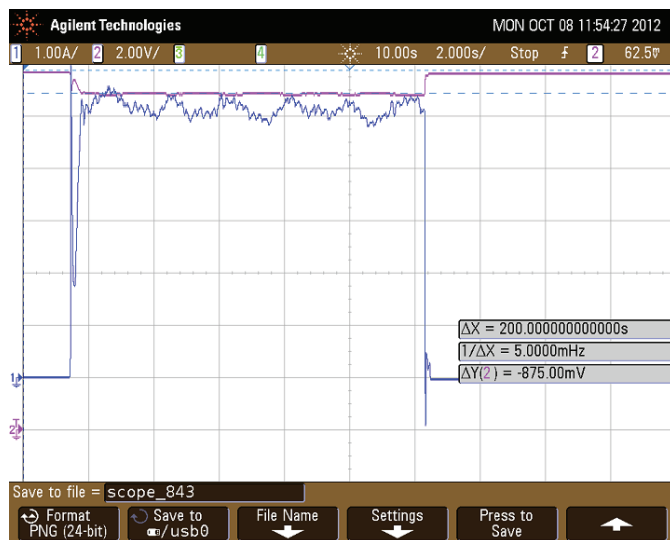


Figura 9: Formas de onda de tensión y corriente en el motor, en la subida; se advierte una pequeña caída de tensión en la batería, tolerable por el sistema

VII. CONCLUSIONES

Se ha diseñado y construido un prototipo de robot escalador de postes, controlado de forma inalámbrica, capaz de transportar 10 Kg además de su propio peso. Las aplicaciones son muy variadas, dada la flexibilidad que aporta la inclusión de un microcontrolador, lo que permite gobernar dispositivos con diferentes protocolos de comunicación: I2C, SPI, etc ...

Los resultados desde el punto de vista académico han superado las expectativas: se dispone de un dispositivo “base” para el cual se han desarrollado diversos trabajos fin de master adicionales, como accesorios para colgar/descolgar carteles publicitarios, etc y también nuevos prototipos de KoalaBot más pequeños, controlados desde un teléfono móvil, etc. Cabe destacar el alto interés de los alumnos por este tipo de proyectos. Desde el punto de vista docente, se dispone de una plataforma multipropósito, válida para docencia en asignaturas dentro del Area de Ingeniería Mecánica como de Tecnología Electrónica, Automática, Comunicaciones, etc con la ventaja clara de suscitar un elevado interés por parte del alumno.

El KoalaBot ha participado en diversas exposiciones y recibido diferentes premios, tales como el premio “Premio fundación 3M a la innovación industrial” en el año 2011 y el primer premio otorgado por el Ayuntamiento de Gijón 2010, en la categoría de mejor trabajo Fin de Máster; se ha patentado a nivel nacional y su explotación corre a cargo de la empresa UniValue [8][9]

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer al Cluster de energía, medio ambiente y cambio climático su apoyo al presente trabajo, así como al CIP (Centro Internacional de Postgrado) y al Máster en Ingeniería Mecatrónica de la Universidad de Oviedo; sin su ayuda y colaboración este proyecto probablemente no se habría conseguido llevar a cabo.

De igual forma, este trabajo ha sido parcialmente subvencionado a través del Plan de Ciencia Tecnología e Innovación del Principado de Asturias, (Ref: FC-15-GRUPIN14-122)

REFERENCES

- [1] Michael P. Murphy, Student Member, IEEE, and Metin Sitti, Fellow, IEEE Waalbot:” An Agile Small-Scale Wall-Climbing Robot Utilizing Dry Elastomer Adhesive”s IEEE/ASME TRANSACTIONS ON MECHATRONICS, VOL. 12, NO. 3, JUNE 2007.
- [2] Tache, Fabien ; Fischer, Wolfgang ; Caprari, Gilles ; Siegwart, Roland ; Moser, Roland ; Mondada, Francesco. (2009) “Magnebike: A Magnetic Wheeled Robot with High Mobility for Inspecting Complex-Shaped Structures”. Journal of Field Robotics, vol. 26, pages 453-476
- [3] Toussaint, Kristopher; Pouliot, Nicolas; Montambault, Serge. (2009) “Transmission line maintenance robots capable of crossing obstacles: State-of-the-art review and challenges ahead”. Journal of Field Robotics Volume 26, Issue 5, pages 477-499, May 2009
- [4] William R. Provancher, Smaule I. Jensen, Mark Fehlberg “ ROCR: An energy-efficient Dynamic Wall-Climbing Robot” IEEE/ASM Transactions on Mechatronics Vol 16, No 5, Octubre 2011, pp 897-906
- [5] Kosuke Nagaya, Tomohiki Yoshino, Maloto Katayama, Iwanori Murakami and Yoshinori Ando “ Wireless Piping Inspection Vehicle using Magnetic Adsorption Force” IEEEASME Transactions on Mechatronics, Vol 17, No.3 June 2012, pp 472-479
- [6] TaeWon Seo, Metin Sitti “Tank-like Module-Based Climbing Robot Using Passive Compliant Joints” IEEE Transactions on Mechatronics, Vol 18 No1, February 2013, pp 397-408
- [7] Je-Sung Koh, Student Member, IEEE, and Kyu-Jin Cho, Member, IEEE “Omega-Shaped Inchworm-Inspired Crawling Robot With Large-Index-and-Pitch (LIP) SMA Spring Actuators” IEEE/ASME TRANSACTIONS ON MECHATRONICS, VOL. 18, NO. 2, APRIL 2013 pp.419-429
- [8] Invention Patent with previous examination, Title: “Plataforma robótica para el ascenso a postes”, publication number: 2 352 930, application number: 201001521, date of grant: 18.07.2011
- [9] UNIVALUE G9 ACTION, (2011). <http://www.univalueg9.com/>
- [10] 3M Foundation, Industrial Innovation Awards of the 2011 in Spain; <http://www.fundacion3m.com/>