

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/267394680>

# DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE MICROMOUSE DE ALTO DESEMPEÑO

Conference Paper · October 2014

CITATIONS

0

READS

8,320

3 authors, including:



**Manuel Joann Núñez**

National University of Colombia

3 PUBLICATIONS 1 CITATION

[SEE PROFILE](#)



**Pedro-F Cardenas**

National University of Colombia

44 PUBLICATIONS 240 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Diseño de un sistema de movimiento de ejes complejos: Robot paralelo tipo Delta [View project](#)



MÁQUINA CLASIFICADORA DE FLORES: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN [View project](#)

# Diseño y construcción de Micromouse de alto desempeño

NUÑEZ TORRES, Manuel J.  
/Estudiante

Universidad Nacional de Colombia  
Departamento de Ingeniería Mecánica y  
Mecatrónica  
Bogotá-Colombia  
mjnunezt@unal.edu.co

Ing. CÁRDENAS H., Pedro F.  
/Profesor Asociado.

Universidad Nacional de Colombia  
Departamento de Ingeniería Mecánica y  
Mecatrónica  
Bogotá-Colombia  
pfcardenash@unal.edu.co.

RAMIREZ, HEREDIA Ricardo  
/Profesor Asociado

Universidad Nacional de Colombia  
Departamento de Ingeniería Mecánica y  
Mecatrónica  
Bogotá-Colombia  
reramirez@unal.edu.co

**Abstract—** En este documento se muestra la metodología de diseño de un Micromouse como producto final con la descripción de todas las soluciones de hardware y software para lograr un rendimiento deseado del mismo, que incluye el desglose tanto de hardware como de software para determinar utilidades necesarias o innecesarias que fueron analizadas para escoger una solución de diseño. Para este diseño se tienen en cuenta las diversas características y reglas de los concursos de micromouse a nivel internacional y las tecnologías a las que se tiene acceso, sin llegar a los detalles de las pruebas de campo ni la puesta a punto del sistema de control.

**Keywords—**Micromouse, microcontrolador TM4C123G6HPM, Sensores De Proximidad Vcn14010.

## I. INTRODUCCIÓN

El Micromouse es un pequeño robot autónomo construido para resolver un laberinto. El primer registro del problema “Ratón versus laberinto” puede ser encontrado en 1950. Este fue presentado por Claude Shannon, quien construyó la primera máquina para resolver un laberinto. La competencia de Micromouse comenzó en los 70’s [7], en donde los robots fueron puestos a prueba en comparación al desempeño de otros robots. El ratón es construido para resolver autónomamente un laberinto con el objetivo de llegar al centro de éste, partiendo desde una de las esquinas del laberinto. A través de sus algoritmos de programación y configuración, el Micromouse debe ser capaz de almacenar en memoria el laberinto, su posición dentro de este, grabar su recorrido por el mismo y optimizar la ruta en el tiempo para resolverlo.

El Micromouse es un robot móvil que integra las necesidades y características mecánicas de una plataforma móvil (velocidad, giro sincronizado, entre otras), la capacidad sensorial para el reconocimiento del entorno y la habilidad de interactuar con éste por medio de información digitalizada y codificada. El robot usa esas características para cumplir con el objetivo de solucionar un laberinto.

El Micromouse es un desarrollo típico del área de robótica con requerimientos dinámicos (velocidad, giros, entre otros), su diseño que incluye técnicas de construcción para el hardware y software e implementar métodos para interpretar e interactuar con su entorno. Pensando en la posibilidad de facilitar la construcción de plataformas como el Micromouse

para promover la generación de desarrollo de conocimiento en el área de la robótica, se recopiló el conocimiento de cómo construir este tipo de vehículos. [1].

## II. CARACTERÍSTICAS DEL MICROMOUSE

El Micromouse en una plataforma autónoma e inteligente, que se desplaza en un ambiente caracterizado por una pista estrecha y donde el tiempo de recorrido es calificado. Por lo que las tendencias de construcción seguidas por los competidores de todo el mundo han sido las siguientes:

- El chasis ancho y la altura baja, para garantizar un centro de gravedad bajo y una mayor estabilidad en las curvas.
- Llantas en pares de cada lado, con el fin de aumentar el agarre.
- Llantas con recubrimiento de goma, o totalmente hechas de goma.
- Motores eléctricos, son preferidos los motores con escobillas que los sin escobillas (brushless) o los paso a paso (steppers). Sin embargo en los últimos años han cobrado popularidad los motores sin armadura (coreless).
- Encoders ópticos para cada eje, con resolución no menor a 1 grado por pulso, lo más pequeños posibles, y conectados por transmisión ya sea al eje de motor o al de las llantas.
- Sensores de proximidad, donde los más populares siempre han sido los ópticos, de preferencia infrarrojos, instalando por separado el emisor y el receptor, o sensores ópticos integrados.
- En general, se usan 4 o más sensores ópticos en una plataforma.
- Baterías de litio de dos o más celdas de alto desempeño, y buscando la mejor relación entre la potencia, el peso, y el tamaño.
- La gama de microcontroladores más usada para el control es la de 32 bits, de las series Cortex-Mx, donde

los favoritos son los Cortex-M4 ya que soportan punto flotante

- Es común usar como chasis la misma placa de circuito impreso, reduciendo así el peso y la complejidad de la plataforma.
- Sensores como acelerómetros, giroscopios y/o brújulas magnéticas, para garantizar giros exactos a 45, 90 y 180 grados.

### III. MÉTODO DE CONSTRUCCIÓN

Al iniciar la implementación del Micromouse, además de la programación de los componentes electrónicos, de la selección de los componentes mecánicos, se debe tener en cuenta en primer lugar la relación de tamaño respecto al espacio permitido por el laberinto.

La principal limitación son las dimensiones del robot que están establecidas por el laberinto [5], el objetivo es mantener el tamaño de los elementos al mínimo, ensamblándolos de la forma más compacta, reduciendo el espacio no utilizado. Al mismo tiempo, liberar espacio para acomodar otros componentes, por lo que el diseño asistido por computadora es de gran utilidad para observar todas las posibles configuraciones y las fallas que puedan surgir durante la implementación y sean corregidas en las etapas de diseño conceptual y de detalle.

Es importante tener muy en cuenta el diseño del circuito impreso (PCB) para obtener los valores máximos y mínimos dimensionales, ya que éste es el chasis del Micromouse, logrando definir espacios disponibles para posicionar los elementos mecánicos, y también imponiendo las limitaciones en el diseño final.

Finalmente es crítico crear el modelo CAD 3D del diseño del PCB, para acoplar todos los elementos y garantizar que encajan correctamente y no hayan elementos que se solapen o interfieran en su funcionamiento. Cuando se diseña y se construye un nuevo robot para ser implementado, se hace necesario utilizar un framework que permita explotar de forma controlada las funcionalidades para las que la planta física fue creada. Existen múltiples ejemplos de plataformas robóticas con hardware y software desarrollado por equipos de trabajo.

### IV. SELECCIÓN DE COMPONENTES

En general se requiere un conjunto de elementos mínimo necesario para construir un Micromouse genérico. Pensando en esto, se presenta una lista de elementos que se deben ir seleccionando de acuerdo a las necesidades de la plataforma.

#### A. Motores

Se escogieron motores coreless, que por su alto desempeño y poco tamaño suelen usarse en aeromodelismo. Estos motores son los MK06-4.5 (Fig. 1) de alta velocidad, bajo torque, con una tensión de trabajo de 3.5v, que se ajusta a las tensiones típicas de la electrónica de control.

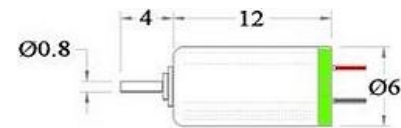


Fig. 1. Motores coreless MK06-4.5 [2]

#### B. Llantas

Debido a la lógica de funcionamiento del Micromouse en la fase de carrera, en donde el desplazamiento sin deslizamiento es crucial, se eligió la goma como material de las llantas, dado su alto coeficiente de fricción.

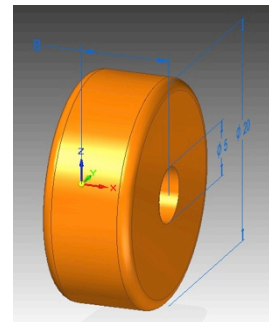


Fig. 2. Diseño y dimensión de las llantas.

#### C. Engranajes

Los engranajes se eligieron convenientemente para crear una transmisión directa entre el motor y llanta, en donde el segundo tiene una forma tal que puede soportar carga radial y servir de eje de la llanta. Ambos engranajes (Figuras 3 y 4) se eligieron del mismo módulo, para asegurar su funcionamiento en conjunto, y con las dimensiones más aproximadas a las normalizadas, pues por el reducido tamaño no es fácil un proceso de fabricación exacto.

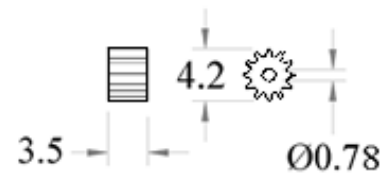


Fig. 3. Engrane del motor. [2]

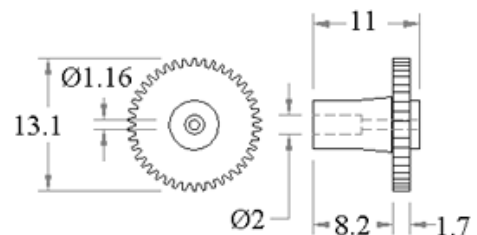


Fig. 4. Engrane de la llanta. [2]

#### D. Batería

Dado que toda la electrónica se diseñó para funcionar a 3.3v por facilidad y compatibilidad, la elección inmediata fueron las baterías de Polímero de Litio o LiPo (Fig. 5), ya que tienen una alta relación capacidad de carga a peso. Pueden

alimentar la electrónica y los motores sin problemas, ya que una única celda puede suministrar 3,7v a 1000mAh.



Fig. 5. Batería LiPo. [2]

#### E. Reguladores

Para convertir la fuente de alimentación en una tensión constante de 3,3v con la menos cantidad de ruidos, picos, y caídas, se optó por una fuente switchcada. La opción seleccionada fue el TPS62163 que puede mantener la tensión deseada, aun si la fuente es variable, siempre que ésta supere la tensión que se está regulando, y además es capaz de generar una señal de alerta si esto no se cumple [3].

#### F. Driver de Motor

Para posibilitar al microcontrolador dar órdenes a los motores, es necesario un driver que proporcione la potencia de las señales. El driver que se usó fue el DRV8836 que tiene salida dual, lo que indica que un solo driver puede controlar los dos motores al tiempo, además tiene límites de seguridad a 1 amperio, que no deberán ser superados a menos que haya un daño o problema de funcionamiento [4].

#### G. Microcontrolador

Se eligió el microcontrolador TM4C123G6PM, que es un Cortex-M4 de 32Bits, el más alto de su gama. Se eligió ya que para la solución del laberinto, y el control de alta velocidad, requieren de cálculos complejos. Esta gama de microcontroladores tienen la capacidad de hacer multiplicaciones en un ciclo de reloj, soporta el uso de números decimales o de punto flotante, y poseen módulos de hardware especializados y muy útiles para esta aplicación, como el QEI o módulo de encoder de cuadratura.

#### H. Sensores de proximidad

Hay varias técnicas de medir proximidad, cada una con rangos de medida diferente. Dadas las características dimensionales de los micromouses y los laberintos, la más apropiada es la de reflexión de luz infrarroja. Por esta razón se eligieron los sensores VCNL4010, que de manera embebida realiza la medición de distancia por medición de reflexión pulsos de luz, compensa el error debido a la luz ambiente, filtra los resultados para reducir el ruido, y los transmite por comunicación IIC. Además su pequeño tamaño es muy conveniente, y facilita su ubicación en la plataforma.

#### I. Giroscopio

Este sensor muy importante en carrera, ya que permite que la plataforma avance en línea recta y gire en ángulos específicos. En cuanto a tecnologías, se eligió un sensor con procesamiento de señal embebido y que fuera compatible con el protocolo IIC. Lo primero debido a que le reduce la carga de

cálculos al microprocesador, y lo segundo a que este protocolo es el más recomendado para el uso de sensores.

#### J. Encoders

Los encoders permiten controlar el movimiento de los motores y el avance de la plataforma. Hay diferentes tipos de encoders, teniendo en cuenta la limitación de tamaño y la exigencia de resolución (al menos un pulso por grado), la lista de opciones se redujo a un solo tipo de encoder: el encoder de cuadratura y dos fabricantes. El seleccionado fue el encoder 7S fabricado por NEMICON, quien lo cataloga en la gama de "Ultra Miniature Size Encoder" o encoders ultra pequeños. Este encoder tiene una resolución de 400 pulsos por vuelta, o 0,9 grados por pulso, y un diámetro de 7 milímetros.



Fig. 6. Encoder 7S.

### V. DISEÑO CONCEPTUAL

A medida que han ido avanzando las versiones del concurso Micromouse, y se ido perfeccionando las plataformas, también se ha ido centralizando el diseño conceptual de las mismas. Basados en los anteriores participantes, en el conocimiento propio, y en la expectativa de funcionamiento, el diseño conceptual utilizado para el desarrollo de esta plataforma se describe a continuación.

### VI. DISEÑO ELECTRÓNICO

En primera medida está el diseño esquemático, en el cual se consideran todos los elementos electrónicos necesarios, así como los puntos de conexión para todos los demás elementos que intervienen y que no hacen parte de la tarjeta de control. La parte mecánica se ciñe a los espacios que se hayan dispuesto en la etapa anterior.

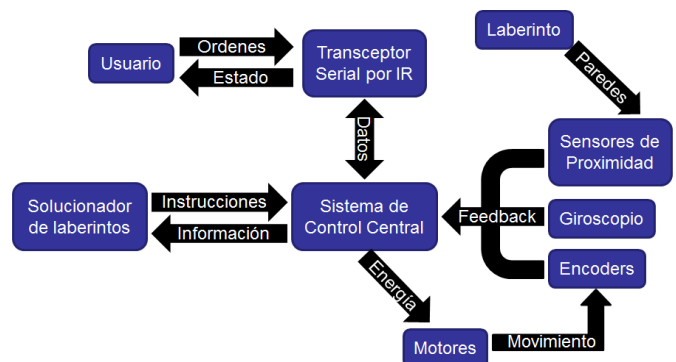


Fig. 7. Diagrama de Flujo.

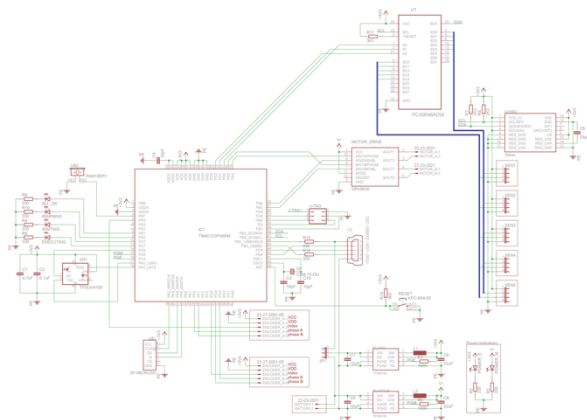


Fig. 8. Diseño esquemático.

Posteriormente se desarrolla el PCB, en el que es de suma importancia la distribución de elementos, y la previsión de los espacios que se usarán para los elementos mecánicos, puertos de conexión, alimentación, y cualquier otro elemento que se vaya a usar

## VII. DISEÑO MECÁNICO

Dentro de la búsqueda por optimizar el espacio se consideraron más de un diseño y diferentes distribuciones de los componentes mecánicos. Por lo que se desarrolló en varias etapas que luego se ensamblaron para al modelo final de la plataforma.

### A. Sistema de Tracción

En el desarrollo del sistema de tracción, en el que está involucrado el encoder que retroalimenta el mecanismo se optó por solucionar primero el acople entre la llanta y el encoder, mediante uno de los engranajes seleccionados, de manera que la medición de posición de la llanta sea directa. La solución fue usar el eje del encoder como soporte del engrane, y a su vez como soporte de la llanta.

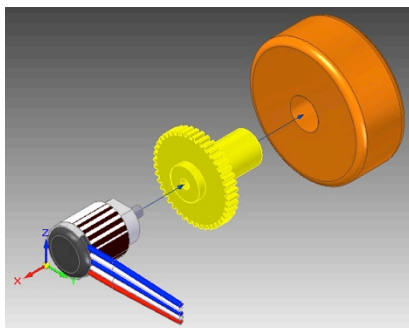


Fig. 10. Ensamble Llanta-Engrane-Encoder.

Posteriormente se acopló el motor, por medio de una pieza plástica que lo sujeta a la distancia exacta dada por la distancia entre centros de engranajes, y que al mismo tiempo acopla todo el sistema a la tarjeta de control.

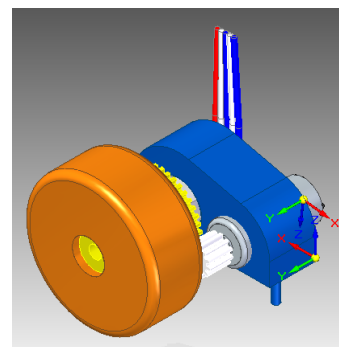


Fig. 11. Sistema de tracción ensamblado.

Una distribución recurrente entre los modelos vistos, es la de acoplar directamente las llantas al eje de los encoders, mientras el motor transmite potencia mediante engranajes a un lado de la llanta. El concepto es muy sencillo, pero lograr ajustar los espacios, los engranajes, las relaciones entre dientes y que se ajuste a los elementos disponibles en el mercado es realmente complicado y requiere de probar de manera iterada diferentes opciones hasta encontrar el ajuste más adecuado.

La configuración que finalmente se aceptó e implementó en este desarrollo, se puede observar en la Figura 11.

## VIII. SOFTWARE Y ALGORITMOS

El software del micromouse se puede dividir en 2 niveles: el control de movimiento y el algoritmo de resolución del laberinto. El primer nivel se encarga del control de posición mientras el segundo se preocupa por decidir a qué celda debe ir el micromouse. Estos niveles interactúan entre sí enviándose información sobre el laberinto y sobre la posición que se quiere alcanzar.

### A. Movimiento

El control de movimiento es el encargado de mover el micromouse de una posición a otra avanzando en línea recta o girando sobre su propio eje mientras garantiza una orientación y una distancia respecto a las paredes del laberinto. Este controlador se mantiene activo todo el tiempo y es retroalimentado por los sensores infrarrojo, el giroscopio y los encoders de los motores. Con la información obtenida de los sensores en cada instante se calculan los anchos de pulso correspondientes a las señales de control de los motores y se configuran dichos anchos de pulso en el módulo PWM del microcontrolador.

### B. Detección de obstáculos

Conforme el micromouse avanza, el control de movimiento sabe cuanta distancia y ángulo le falta para llegar a la posición que se le indicó y aprovecha esta información para saber si está en una celda del laberinto o en otra, luego combina esta información con la de los sensores infrarrojos para notificar al algoritmo de resolución del laberinto sobre el cambio de celda, número y posición de los muros que rodean la celda en la que se encuentra.

### C. Control de Giro y avance

El control de giro consiste en el control de la cantidad angular que es deseada para el siguiente avance del micromouse, debido a que el giro se realiza luego de terminar



un avance y antes de proceder al siguiente. El control de giro toma la medida del giroscopio que al inicio del recorrido es  $0^\circ$  de giro y el movimiento coordinado de los motores para ubicar angularmente el micromouse en el espacio 2D.

#### D. Algoritmo de resolución

Este nivel del controlador posee una máquina de estados finitos con la que sabe si está en la etapa de exploración del laberinto, o si está en la etapa de carrera. Además divide la etapa de exploración en dos partes, llegar a la salida y regresar al inicio del laberinto, esto es necesario para el funcionamiento del algoritmo de búsqueda del camino y para que al regresar al comienzo intente pasar por celdas que no hayan sido exploradas, con el fin de encontrar otros caminos que podrían ser más cortos que el que se encontró inicialmente.

Se utilizó el algoritmo Floodfill (inundación) para la exploración, el cual calcula las distancias de cada celda a la fuente de la inundación. La idea es inundar desde la salida del laberinto o desde la celda donde se encuentra el micromouse de tal manera que al completar la inundación se puede hallar un camino simplemente con pasar a la celda vecina que tenga una distancia menor, y que no esté aislada de ésta por un muro.

Tras realizar la inundación se presentarán varios caminos. Durante la etapa exploración no hay suficiente información para escoger un camino así que se escoge arbitrariamente. Al hacer esto también se reduce el tiempo de ejecución. Una vez se termina la etapa de exploración y se ha regresado al comienzo del laberinto se puede buscar el mejor camino con la información conocida dejando quieto el micromouse por un tiempo, dándole así la oportunidad al algoritmo de selección de ejecutarse sin que afecte el control del micromouse. Luego, durante la etapa de carrera, se mantiene el camino escogido quitándole carga al microcontrolador y permitiéndole dedicarse al control de movimiento.

El diseño final se muestra en las siguientes figuras donde ya se encuentran acopladas cada una de las fases que comprendieron el diseño.

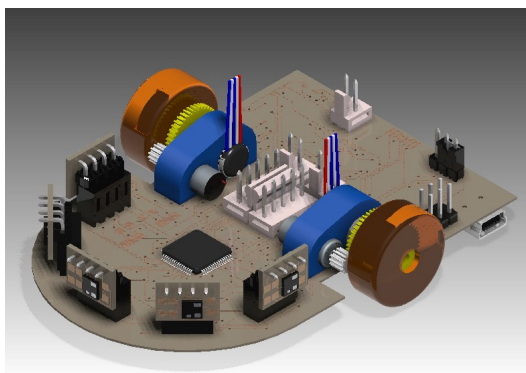


Fig. 12. Modelo CAD micromouse final

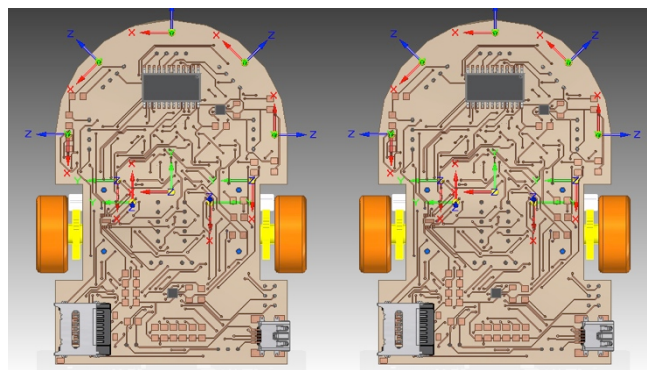


Fig. 13. Modelo CAD Micromouse Final vista superior e inferior.

#### AGRADECIMIENTOS

Agradecimiento a la Universidad Nacional de Colombia através de la Dirección de Investigación de sede (DIB) y Vicedecantura de investigación de la Facultad de Ingeniería Al Programa de fortalecimiento. Programa nacional de semilleros de investigación, creación e innovación de la Universidad Nacional de Colombia 2013-2015. Proyecto 18344 Robot A Escala Tipo Industrial. Y al proyecto Código: 18570 Adquisición, Ensamble y Puesta en Marcha de Impresora 3d de Bajo Costo Para la Asignatura de Diseño Mecatrónico.

A COLCIENCIAS que a través del programa de Formación de Doctores propociono la beca de Doctorado del Ingeniero Pedro Fabían Cárdenas Herrera.

#### REFERENCIAS

- [1] Obdrzalek David, Gottscheber Achim, Research and Education in Robotics - EUROBOT 2010: International Conference, Rapperswil-Jona, Switzerland, May 27-30, 2010. Springer. p 200, 2011.
- [2] Homefly®, Section: Coreless Motors, disponible en: <https://www.homefly.com/products.asp?id=44>. Consultado en: 6 de Abril 2013.
- [3] Texas Instruments Inc. 3V-17V 1A Step-Down Converters with DCS-Control (Rev. C). SLVSAM2C, November 2011, Revised September 2013.
- [4] Texas Instruments Inc. Dual Low-Voltage H-Bridge IC, DRV8836 (Rev. B). SLVSB17A, March 2012, Revised September 2013.
- [5] Web Site. Micromouse Rules Region 6. Disponible en: <http://iee.ucsd.edu/projects/micromouse/rules.php>. Consultado en: 20 de junio 2014
- [6] [5]MIT, Motion Capture, <http://web.mit.edu/comm-forum/papers/furniss.html>, Consultado en: 6 de Abril 2013.
- [1] Web Site. Micromouse on line. Disponible en: <http://www.micromouseonline.com/micromouse-book/history/>, Consultado en: 20 de Junio 2014.