

SISTEMA DE MEDICIÓN INTELIGENTE PARA LA GESTIÓN DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA Y MEDICIÓN DE AGUA POTABLE EN LOS HOGARES

Diego Ortiz Villalba, Jacqueline Llanos Proaño, Omayra Jácome Riera, Gabriel León Amores

Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Latacunga, Ecuador

RESUMEN: *El sector eléctrico ecuatoriano hoy en día está sufriendo muchas modificaciones en varios aspectos: matriz energética, energías renovables no convencionales, biocombustibles, eficiencia energética, es en este último sector (eficiencia energética) es donde se enmarca la realización de este proyecto. Es importante señalar que la demanda eléctrica es creciente y lamentablemente debido a la estructura del sector eléctrico ecuatoriano los clientes de las empresas de distribución de energía no participan de una manera activa, de la misma manera sucede con las empresas de distribución de agua potable.*

En el presente trabajo se diseñó e implementó un medidor híbrido (Smart Meter) que incentiva a los usuarios a conocer en detalle el consumo de energía eléctrica y agua potable, usando una interfaz amigable.

Palabras clave: *Medidor Inteligente, Eficiencia Energética, Ahorro Energético, Gestión de la demanda*

ABSTRACT: *Nowadays the Ecuadorian electric sector is undergoing many changes in several aspects: energy matrix, non-conventional renewable energy, biofuels, energy efficiency, and in this sector (energy efficiency) where this project m. makes emphasis. It is important to point that electricity demand is increasing and unfortunately due to the structure of the Ecuadorian electric sector customers of energy distribution companies are not involved in an active way, the same way it happens with companies distributing drinking water.*

In this paper we designed and implemented a hybrid meter (Smart Meter) that encourages users to know in detail the consumption of electricity and drinking water, using a friendly interface.

I. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, se ha concentrado la atención en el suministro de electricidad, la infraestructura y el servicio del agua potable.

El consumo de electricidad aumentó significativamente y ha llegado a ser muy fluctuante. Debido a la fluctuación de la demanda, los requisitos mínimos de la red han aumentado y la eficiencia de generación ha disminuido. [1]

Cabe mencionar, que hace varios años atrás la humanidad tenía poco conocimiento y conciencia en temas de ahorro energético, que producían un desperdicio de manera irracional varios recursos siendo uno de ellos la energía eléctrica [2]. Además el desconocimiento acerca de la cantidad de energía que se utilizaba al tener varios aparatos eléctricos encendidos a la vez, con lo cual las lecturas mensuales que se registraban por parte de las empresas distribuidoras de energía eléctrica, eran totalmente altas mes a mes, y los consumidores desconocían de estos valores registrados.[3]

Por ello, hoy en día es común escuchar acerca de las Smart Grids (Redes Inteligentes), que a menudo se asocian con el concepto de Smart Metering (Sistemas Inteligentes de Medición), capaces de ofrecer a los consumidores una facturación detallada de su consumo, y además incentivan el uso eficiente de los recursos.[4]

En países como España, Chile, Brasil, México y Noruega se han implementado sistemas que permiten el cobro exacto por el consumo en el servicio y resuelven en su totalidad los problemas descritos anteriormente cabe mencionar que ningún sistema es 100% eficiente ni seguro.[5]

Para determinar el consumo de energía eléctrica y de agua potable realizado por los usuarios es necesario contar con un dispositivo que registre el consumo, tarea que desempeñan los medidores eléctricos y mecánicos; los cuales registran y muestran el consumo de energía eléctrica y agua potable. A diferencia de los medidores eléctricos que sólo miden el consumo total, los medidores inteligentes muestran la energía que se consume diariamente, proporcionan facturación en tiempo real, y ofrecen a los clientes la capacidad visualizar su historial de

consumo para gestionar mejor los costes de energía.[6]

Actualmente en el país las empresas de servicios básicos emplean en gran medida medidores electromecánicos, mecánicos para la medición del consumo de energía eléctrica y de agua potable residencial, en conjunto con sistemas de facturación y recaudación para el cobro de la energía y agua potable consumida [7]. Debido al incremento de la demanda eléctrica, Ecuador está implementado medidores digitales que realizan la misma función que un medidor electromecánico pero que poseen todas las ventajas de un sistema digital como lo es la exactitud, fácil reproducción y estabilidad. En el sector agua potable no se observa cambios en cuanto a la medición del consumo.[8]

La realidad es que en la actualidad la infraestructura de red eléctrica existente parece que cumple parte de las expectativas (desde la generación tradicional y renovable hasta el transporte y parte de la distribución) pero tiene que mejorar notablemente desde el punto de vista del usuario final y las funcionalidades que se espera de ella. La interfaz existente entre los medidores electromecánicos y mecánicos, no es amigable, debido a que únicamente muestra el registro del consumo totalizado de la energía eléctrica y agua potable [9]. Esto constituye uno de los factores para que la demanda sea pasiva y no un agente activo del sistema, es decir que no reacciona o no participa en posibles mejoras. Todo esto está haciendo que aparezca un nuevo concepto de red eléctrica, las redes inteligentes cuya definición básica puede corresponder a: "Las redes inteligentes son las redes eléctricas que pueden integrar de manera inteligente el comportamiento y las acciones de todos los actores conectados a ellas (quienes generan electricidad, quienes la consumen y quienes realizan ambas acciones) para proporcionar un suministro de electricidad seguro, económico y sostenible". [10]

Según la estadística de parámetros eléctricos de las empresas distribuidoras del Ecuador, el consumo de energía eléctrica en el país es de 18.469 Gigavatios por hora (GWh), cifra que corresponde al cálculo establecido en septiembre del 2012, de acuerdo a un boletín de la Empresa Eléctrica de Quito.[11]

Encuestas realizadas por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) en junio de 2012, establecieron los índices de consumo

eléctrico y gasto mensual promedio en los hogares de las principales ciudades del Ecuador. Por ejemplo, un hogar en Quito consume 143,41 kWh por mes, en Guayaquil el consumo de energía eléctrica en un hogar por mes es de 182,41 kWh, en Cuenca se consume 151,10 kWh por mes, mientras en Ambato se consume 118,50 kWh. Con lo que se puede diferenciar que en promedio Guayaquil es la ciudad que más consume energía eléctrica por hogar al mes.[12]

Por otro lado según las encuestas realizadas en el año 2012, por parte del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), el 76,51% de hogares ecuatorianos tienen acceso al agua potable, mientras que un 23,49% de ecuatorianos no les llega el suministro.

A su vez, el 27,6% de los hogares ecuatorianos tenía alguna práctica de ahorro de agua, 21,3 puntos menos que el porcentaje de hogares registrados en el 2011, cuando la cifra alcanzaba al 48,9%, según los últimos datos de Información Ambiental de Hogares del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), siendo esto un grave problema, ya que los ecuatorianos desperdician notablemente este recurso, que día a día va disminuyendo debido a diferentes factores especialmente al calentamiento global.[13]

II. METODOLOGÍA

La propuesta tiene como objetivo fundamental construir un sistema de medición inteligente híbrido, es decir, un sistema capaz de medir dos recursos indispensables energía eléctrica y el agua potable, que se distribuyen en los hogares; con la finalidad de concientizar al usuario a mejorar sus hábitos de consumo. Para el efecto se pretende mostrar mediante una interfaz amigable la cantidad de energía eléctrica y agua potable consumida diariamente.

Para el desarrollo de este sistema de medición inteligente, se tomó en cuenta diversos factores determinantes en el diseño final del medidor, a continuación en la figura 01 se detallan los aspectos considerados:

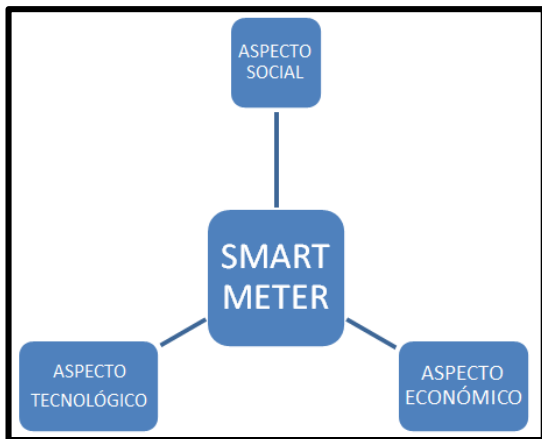


Figura 01: Aspectos considerados en la construcción de un SMART METER

Aspecto Social: Para varias personas pasa por desapercibido el interés por conocer la cantidad de energía eléctrica o agua consumida; en sectores de nivel económico medio, es en donde inicialmente la propuesta se inclina, y para conocer el nivel de preocupación de los usuarios, se aplicó encuestas; en las que se hace referencia a la conformidad con respecto a los medidores convencionales instalados en los domicilios, los hábitos de consumo tanto de energía eléctrica como de agua, el interés por conocer la cantidad consumida de estos recursos, y la claridad con la que la información del consumo es presentada al usuario.

En las encuestas se abordaron temas relacionados con: el nivel de conformidad, nivel de aceptación de un nuevo sistema de medición, hábitos de consumo, claridad con la que las interfaces tradicionales presentan la información, y la forma en la cual el usuario desearía conocer el valor del consumo de energía eléctrica y agua potable. Gracias a los resultados obtenidos en las encuestas, se determinó la percepción, necesidades y requerimientos por parte de la población sobre los medidores, sin dejar de lado el aspecto económico.

Aspecto Económico: Una vez identificadas las necesidades y requerimientos por parte de los usuarios, se analiza el beneficio económico que resulta para los consumidores la implementación de la propuesta, haciendo así una comparación entre las ventajas y desventajas del sistema actual (utilización de los medidores convencionales), y el medidor desarrollado, además se realizó una comparación económica de los medidores de energía eléctrica, agua potable y el medidor

híbrido el cual tiene un costo mayor, debido a que la propuesta presenta la unión de dos medidores convencionales (energía eléctrica y agua potable), tomando en cuenta que posee prestaciones adicionales.

Aspecto Tecnológico: Se realizó un análisis de los sistemas de medición convencionales, y con ello se evaluó la posibilidad de usar insumos tecnológicos existentes en el mercado, para llevar a cabo la construcción de la propuesta, obteniendo un medidor completamente fiable y confiable, con parámetros de ajuste y calibración adecuados, que ayudan al usuario a tener un mejor seguimiento de los datos de consumo.

En la siguiente etapa se realizó el diseño del medidor, considerando los tres parámetros anteriores, que fueron importantes para seleccionar cada uno de los dispositivos que forman parte del medidor, los cuales gracias a sus características técnicas y prestaciones, viabilizan la propuesta, consiguiendo que la misma sea competitiva con el resto de medidores convencionales.

A continuación se dio inicio a la construcción del medidor, utilizando dispositivos como son: un transformador de corriente, transformador de voltaje, sensor de flujo, módulos de comunicación inalámbrica, tarjetas para adquisición de datos, acondicionadores de señal, interfaz gráfica y programación.

Luego se procedió al ajuste y calibración del medidor, contrastando con patrones, que en este caso fueron medidores convencionales suministrados por las empresas de distribución tanto de energía eléctrica como de agua potable, con la finalidad de presentar un equipo que posea un margen de error aceptable.

III. RESULTADOS

La figura 02a indica la primera etapa del medidor híbrido que corresponde al sensado de variables (energía eléctrica y agua potable).



Figura 02a: Etapa de sensado del medidor híbrido

La figura 02b muestra la segunda etapa del medidor híbrido que corresponde a la adquisición de señales e interfaz que permite visualizar los datos en tiempo real.

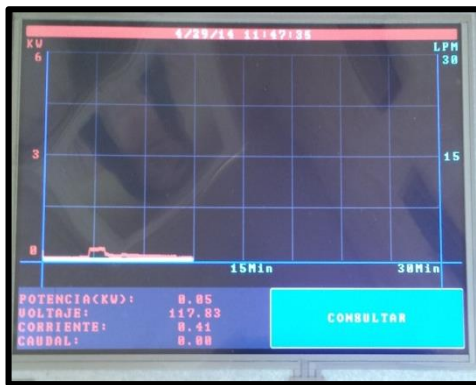


Figura 02b: Muestra de datos en tiempo real

A continuación se muestran los resultados obtenidos en las lecturas de los patrones con respecto al medidor híbrido, de los medidores convencionales e híbrido, indicando que las lecturas se tomaron por horas, días y semanas, llegando así a obtener un registro de aproximadamente dos meses, en los cuales el medidor inteligente registra valores, que al ser contrastados con las lecturas de los medidores convencionales de luz y agua presentan márgenes de error aceptables.

➤ CALIBRACIÓN DEL MEDIDOR HÍBRIDO (ENERGÍA ELÉCTRICA)

El análisis de la calibración se lo realizó contrastando con el Analizador de Carga FLUKE 41B y el medidor híbrido obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 01: Errores de calibración de la energía eléctrica

DÍA		FLUKE 41B (kW)	MEDIDOR HÍBRIDO (kW/h)	ERROR (%)
Día 1	Medida 1	0,25	0,25	0,00
	Medida 2	0,13	0,14	7,69
	Medida 3	0,23	0,24	4,35
Día 2	Medida 1	0,30	0,30	0,00
	Medida 2	0,29	0,29	0,00
	Medida 3	0,19	0,19	0,00
Día 3	Medida 1	0,09	0,09	0,00
	Medida 2	0,24	0,25	4,17
	Medida 3	0,27	0,27	0,00
ERROR PROMEDIO (%)				1,73

➤ CALIBRACIÓN DEL MEDIDOR HÍBRIDO (AGUA POTABLE)

El análisis de la calibración se lo realizó contrastando con una reserva y el medidor híbrido obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 02: Errores de calibración del agua potable

DÍA		RESERVA (l)	MEDIDOR HÍBRIDO (l/min)	ERROR (%)
Día 1	Medida 1	1	1,04	4,00
	Medida 2	5	5,01	1,00
	Medida 3	12	12,03	3,00
Día 2	Medida 1	1	1,02	2,00
	Medida 2	12	12	0,00
	Medida 3	20	20,02	2,00
Día 3	Medida 1	1	1,04	4,00
	Medida 2	5	5,03	3,00
	Medida 3	12	12,07	7,00
ERROR PROMEDIO (%)				2,92

➤ CONSUMO Y ERRORES DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Los resultados obtenidos del consumo de energía eléctrica son los siguientes:

a. SEMANA DEL 10 AL 16 DE FEBRERO DEL 2014

Como muestra la figura 03 el error que marca entre la curva de consumo del medidor convencional frente a la curva de consumo de medidor híbrido es baja.

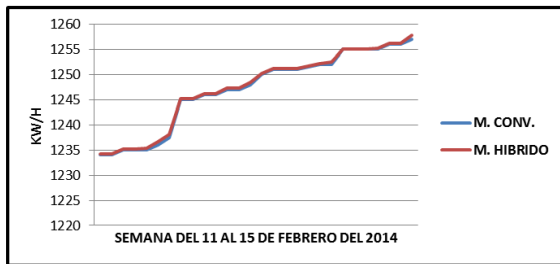


Figura 03: Curvas de consumo de la semana del 10 al 16 de febrero del 2014

Por otro lado el análisis numérico de los errores de medición entre los días de la semana del 10 al 16 de febrero del 2014 se muestra en la tabla 01.

Tabla 03: Consumo y errores de la energía eléctrica del 10 al 16 de Febrero del 2014

DIA	M. CONENCIONAL (KW/h)		M. HIBRIDO (KW/h)		ERRORES	
	MEDIDA 1	MEDIDA 2	MEDIDA 1	MEDIDA 2	ERROR	ERROR %
11-Feb	MEDIDA 1	1234	MEDIDA 1	1,22	ERROR	0,07
	MEDIDA 2	1238	MEDIDA 2	3,08		
	CONSUMO	4	CONSUMO	4,31	ERROR %	7,78
13-Feb	MEDIDA 1	1245	MEDIDA 1	1,38	ERROR	0,084
	MEDIDA 2	1248	MEDIDA 2	1,86		
	CONSUMO	3	CONSUMO	3,25	ERROR %	8,43
14-Feb	MEDIDA 1	1250	MEDIDA 1	1,23	ERROR	0,05
	MEDIDA 2	1252,5	MEDIDA 2	1,41		
	CONSUMO	2,5	CONSUMO	2,64	ERROR %	5,95
15-Feb	MEDIDA 1	1254	MEDIDA 1	1,00	ERROR	0,07
	MEDIDA 2	1257	MEDIDA 2	2,23		
	CONSUMO	3	CONSUMO	3,23	ERROR %	7,71

➤ CONSUMO Y ERRORES DE AGUA POTABLE

El análisis de resultados que se obtuvieron de las mediciones de agua potable se realizó por semanas debido a que el medidor de agua convencional presenta en su medida una resolución alta.

a. SEMANA DEL 3 AL 9 DE FEBRERO

La tabla 03 muestra el análisis porcentual del margen de error entre las mediciones de los medidores convencional e híbrido.

Tabla 04: Consumo y errores del agua potable del 3 al 19 de Febrero del 2014

M. CONVENCIONAL (m³)	M. HIBRIDO (L/min)		ERRORES		
	MEDIDA 1	MEDIDA 2	ERROR	ERROR %	
MEDIDA 1	5126	MEDIDA 1	1703,66	0,13	
MEDIDA 2	5130	MEDIDA 2	1763,61		
CONSUMO	4	CONSUMO	3467,28	ERROR %	13,31

b. SEMANA DEL 10 AL 16 DE FEBRERO

La semana siguiente de pruebas de funcionamiento se registró valores pertenecientes a los días entre el 10 y 16 de febrero con lo cual se obtuvo los errores indicados en la tabla 04.

Tabla 04: Consumo y errores del agua potable del 10 al 16 de Febrero del 2014

M. CONVENCIONAL (m³)		M. HIBRIDO (L/min)		ERRORES	
MEDIDA 1	MEDIDA 2	MEDIDA 1	MEDIDA 2	ERROR	ERROR %
5131	5135,5	1071,14	2882,61	0,12	
CONSUMO	4,5	CONSUMO	3953,76		

IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El sistema de medición inteligente fue probado e implementado, posee una interfaz intuitiva, amigable y de fácil acceso. Los usuarios pueden acceder a la información de consumo actual tanto de energía eléctrica como de agua potable, así como a información histórica de la evolución de sus consumos.

• ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA MEDICIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Como lo indica la tabla 06, con el sistema de medición inteligente se obtuvo un error promedio de +9,42%, tomando en cuenta que todo equipo de medición presenta en sus características un margen de error considerable, el medidor permite al usuario conocer el consumo en KW/h en tiempo real y realiza una comparación entre el consumo en KW/h con el número de focos encendidos, logrando que el usuario perciba de mejor manera el uso de energía eléctrica en su domicilio.

Tabla 06: Errores de medición de la energía eléctrica

ERROR MINIMO (%)	ERROR MAXIMO (%)	ERROR PROMEDIO (%)
5,95	14,31	9,42

• ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA MEDICIÓN DEL CONSUMO DE AGUA POTABLE

La tabla 07 muestra el análisis de errores que el sistema de medición inteligente presenta, del cual se obtuvo un error promedio de

+14,42%, Sin embargo se logra que el usuario conozca fácilmente los valores de consumo en su domicilio gracias a que se proporciona una interfaz amigable, y se logra una participación activa por parte del mismo, debido a que con este conocimiento empezará a cambiar sus hábitos de consumo el agua potable.

Tabla 07: Errores de medición del agua potable

ERROR MINIMO (%)	ERROR MAXIMO (%)	ERROR PROMEDIO (%)
12,13	16,71	14,42

• ANÁLISIS DE RESULTADOS DE FACTURACIÓN

El análisis de facturación se enfoca en la comparación del valor económico mensual facturado por la empresa de distribución frente al valor previo a cancelar indicado en el medidor, siendo el valor del medidor un costo aproximado sin agregar el porcentaje adicional perteneciente a los impuestos que presenta cada empresa de distribución.

Por ese motivo el valor a cancelar que muestra el medidor en energía eléctrica esta referenciado a la tarifa indicada por el CONELEC, ubicándose en la tarifa de un consumidor residencial que no exceda los 500 KW/h a un valor de 0,08 ctvs de dólar.

De igual forma se realiza el análisis de la tarifa del agua potable sin cargos adicionales como son los excedentes de impuestos, por ello el valor del metro cubico de la empresa de agua potable EMAPAP es de 0,18 ctvs de dólar.

Una vez aclarado el punto central del cálculo de tarifas a cancelar, se indica que el medidor hibrido únicamente muestra en su pantalla que el costo a pagar por el consumo de energía eléctrica y agua potable se encuentra libre de impuestos, por lo que el valor final puede variar dependiendo la empresa de distribución.

V. CONCLUSIONES

- La metodología que se implementó es determinante en la construcción del medidor, ya que abarca los requerimientos de los usuarios, quienes no se muestran conformes con respecto a la presentación de datos que poseen en la actualidad los medidores convencionales, es por ello que se desarrolló una interfaz adecuada para cubrir las necesidades de la sociedad.

- El medidor inteligente tiene la capacidad de medir dos variables (energía eléctrica y agua potable) en el hogar, permitiendo que el usuario visualice paralelamente los niveles de consumo, recalando que el medidor como todo equipo de medición presenta un margen de error por cada variable, es así que para la energía eléctrica el margen de error es de +9,42% con relación a los datos de lectura de los medidores convencionales de energía eléctrica y para el agua potable +14,42% con relación a datos de los medidores convencionales de agua potable.

- Lectura en tiempo real, es la gran ventaja que presenta este medidor frente a los medidores convencionales, de modo que el usuario sabe con exactitud la fecha y la hora donde mayor consumo de recursos (energía eléctrica y agua) se obtuvo, permitiendo que el usuario participe de forma activa ante el uso de recursos energéticos, gestionando de mejor manera el uso de los mismos.

VI. REFERENCIAS

- [1] A. Molderink, S. Member, V. Bakker, M. G. C. Bosman, J. L. Hurink, and G. J. M. Smit, "Management and Control of Domestic Smart Grid Technology," vol. 1, no. 2, pp. 109–119, 2010.
- [2] H. Sæle and O. S. Grande, "Demand Response From Household Customers : Experiences From a Pilot Study in Norway," vol. 2, no. 1, pp. 102–109, 2011.
- [3] D. Huang and R. Billinton, "Effects of Load Sector Demand Side Management Applications in Generating," vol. 27, no. 1, pp. 335–343, 2012.
- [4] A. Scaglione and R. Melton, "Information processing for the power switch]," no. SEPTEMBER, pp. 55–67, 2012.
- [5] V. W. S. Wong, S. Member, J. Jatskevich, R. Schober, and A. Leon-garcia, "Autonomous Demand-Side Management Based on Game-Theoretic Energy Consumption

- Scheduling for the Future Smart Grid,”
vol. 1, no. 3, pp. 320–331, 2010.
- [6] J. Olvera, “Instituto politécnico nacional,” Instituto Politecnico Nacional, 2003.
- [7] V. C. Güngör, D. Sahin, T. Kocak, S. Ergüt, C. Buccella, S. Member, C. Cecati, and G. P. Hancke, “Smart Grid Technologies : Communication Technologies and Standards,” vol. 7, no. 4, pp. 529–539, 2011.
- [8] P. Kulkarni, S. Gormus, Z. Fan, and F. Ramos, “AMI Mesh Networks—A Practical Solution and Its Performance Evaluation,” *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 3, no. 3, pp. 1469–1481, Sep. 2012.
- [9] N. Gatsis, S. Member, and G. B. Giannakis, “Residential Load Control : Distributed Scheduling and Convergence With Lost AMI Messages,” vol. 3, no. 2, pp. 770–786, 2012.
- [10] C. Lo, S. Member, and N. Ansari, “The Progressive Smart Grid System from Both Power and Communications Aspects,” vol. 14, no. 3, pp. 799–821, 2012.
- [11] Martín Durán, “1er Trimestre 2012,” pp. 1–7, 2012.
- [12] INEC (Insitto de estadísticas y Censos), “Contenido,” pp. 1–45, 2012.
- [13] INEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos), “Siete de cada diez hogares en Ecuador no realizan ninguna práctica de ahorro de agua | Instituto Nacional de Estadística y Censos,” MARZO, 2014. [Online].