

INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY
ANÁLISIS DE SISTEMAS ELECTROMAGNÉTICOS EN SISTEMAS INGENIERILES
ENTREGA FINAL RETO

F1017B.4 : Análisis de Sistemas Electromagnéticos en sistemas ingenieriles (Gpo 4)

Pedro Alan González Arámbula.

Tecnológico de Monterrey, Campus AGS

a01625308@itesm.mx

Michelle Andrea Arceo Solano.

Tecnológico de Monterrey, Campus AGS

a01625268@itesm.mx

Tania Jaqueline López Esparza.

Tecnológico de Monterrey, Campus AGS

a01625312@itesm.mx

Miguel Ángel Chávez Robles.

Tecnológico de Monterrey, Campus AGS

a01620402@itesm.mx

RETO

Modelar un prototipo de motor lineal de corriente directa basado en una barra deslizante que se mueva a lo largo de un riel con imanes permanentes.

INTRODUCCIÓN

Los motores son la parte de un sistema o máquina que brinda una energía mecánica a partir de una energía diferente (eléctrica. Combustión, etc). Existen distintos tipos de motores y se clasifican de acuerdo con ciertas características, por ejemplo, su fuente de energía, o su manera de transformarla. Otra forma de clasificación es de acuerdo con movimiento que este nos genera, por ejemplo, lineales, de paso, rotacional, etc. En este bloque, siendo Análisis de sistemas electromagnéticos en sistemas ingenieriles analizaremos el comportamiento de un motor lineal, cuya fuente sea generada por la acción tanto de campos magnéticos como eléctricos, mediante el uso de imanes permanentes. Asociaremos los conceptos y fenómenos relacionados con el magnetismo y la eléctrica con el fin de modelar un motor, conteniendo ciertas características que lo hagan funcionar de una manera eficiente, determinaremos qué condiciones físicas debe presentar para que su rendimiento sea adecuado.

MARCO TEÓRICO

MOTORES LINEALES EN GENERAL

[1]

PRINCIPIO DE OPERACIÓN

Parte del funcionamiento de un motor rotatorio, con la diferencia de que para los motores rotatorios hay una parte activa y una pasiva, esto mismo es lo que genera el movimiento de rotación, mientras que, en el motor lineal, existe solo la parte activa que avanza en una dirección. Es decir, los motores lineales nos generan como resultado final un desplazamiento recto directamente. El motor lineal genera su movimiento en este caso a partir de campos magnéticos (generados con la acción de imanes permanentes) y campos eléctricos (generados por la acción de un voltaje). Estos al entrar en contacto generan un desplazamiento para el elemento móvil, haciéndolo avanzar sobre el material conductor en una sola dirección, dependiendo del sentido la corriente.

TIPOS

[2] Existen muchos tipos de motores lineales clasificados en base a diferentes características, para comprender un poco más su clasificación y entenderlo de manera más visual mostramos este diagrama:

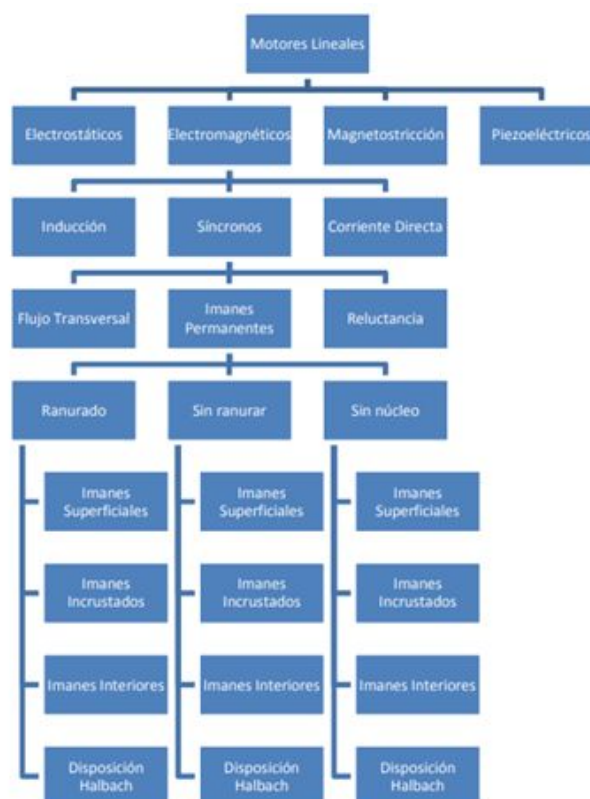


Ilustración 1 Esquema Clasificación de los motores lineales, por Daniel González García, de la Universidad Carlos III de Madrid, abril del 2011.

Este proyecto conjunta el motor electromagnético, es decir, que su fuente de funcionamiento de gracias a acciones de fuerzas tanto magnéticas como eléctricas. También implementamos una alimentación de corriente directa (que será la fuente de las fuerzas eléctricas) y la acción de imanes permanentes (que serán la fuente de las fuerzas magnéticas).

PRINCIPALES CAMPOS DE APLICACIÓN.

[3] Uno de los campos más importantes donde podemos ver el uso de los motores es en la industria, estos comúnmente se usan para la automatización de procesos, tales como líneas de ensamble, empaque, etc. Normalmente se combinan distintos tipos de motores combinados en acomodos distintos para lograr una mayor versatilidad.

Pueden ser empleados en sistemas de transporte donde un ejemplo muy típico de esto es el tren de levitación. Otros ejemplos de aplicación son prensas de pequeño tamaño, procesamiento de madera, embalaje, mecanismos de alta velocidad, etc.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS

[4] Las ventajas de utilizar un motor lineal en lugar de otro motor de corriente directa es que son altamente versátiles, es decir cuentan con posicionamiento libre, puedes ajustar de velocidad y aceleración, programar la fuerza, además de que cuenta con bajo costos de mantenimiento, larga vida de servicio y bajo costos energéticos.

Sin embargo, también tiene desventajas, tiene una baja eficiencia y el efecto punta el cual reduce el máximo empuje que le motor puede producir, este efecto solo se da en motores lineales, es despreciables a velocidad baja, sin embargo, a velocidad alta es significativo.

IMPLEMENTACIÓN MODELADA

DESCRIPCIÓN DE OPERACIÓN

[5] Estos son motores síncronos sin escobilla, trabajan como si fueran un motor de tipo torque, pero son abiertos, lo que genera este movimiento lineal. Los motores electromagnéticos evidentemente generan su movimiento gracias a la interacción eléctrica-magnética entre un ensamblaje primario y uno secundario, que están compuestos por una bobina e imanes permanentes respectivamente. Gracias a esto, la energía eléctrica al accionar con la fuerza magnética se transforma en energía mecánica produciendo el desplazamiento de un elemento móvil.

LEYES FÍSICAS Y MAGNÉTICAS BAJO LAS QUE OPERA

Ley de Faraday

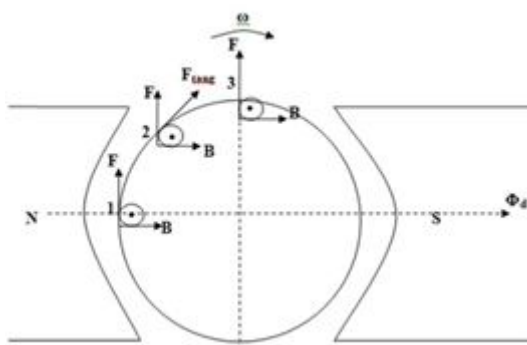
[6] Nos habla de la inducción electromagnética, y nos establece que la inducción por voltaje requiere de tres puntos para existir: 1. Debe existir un campo o flujo magnético, 2. Debe haber un conductor orientado de manera transversal al campo magnético, y 3. Debe haber un movimiento en el conductor. De no cumplirse algunos de estos puntos no existe la inducción en el sistema. De esta ley rescatamos la fórmula

Ley de Ampere

[7] La circulación del campo magnético a lo largo de una línea cerrada es equivalente a la suma algebraica de las intensidades de la corriente que atraviesan la superficie delimitada por la línea cerrada, multiplicada por la permitividad del medio. De donde obtenemos la fórmula

Ley de Biot y Savart

[8] Un campo magnético generará una fuerza sobre un conductor en el que circula una corriente eléctrica.



Ley de Lenz

[9] Esta establece una relación entre los cambios producidos en el campo eléctrico para un conductor de acuerdo con la variación de flujo magnético en este, y afirma los voltajes inducidos sobre un conductor y los campos eléctricos asociados son de un sentido tal que se oponen a la variación del flujo magnético que las induce.

Ley de Ohm

[10] Nos habla sencillamente de la relación entre el voltaje, la corriente y la resistencia de un material conductor estableciendo la fórmula

Ley de Gauss

[11] Nos establece que el flujo de campo eléctrico que atraviesa una superficie cerrada es igual a la carga neta situada en su interior dividida por la constante dieléctrica del medio. De aquí rescatamos la fórmula

DESCRIPCIÓN DE COMPONENTES

Base: En esta encontramos la fuente de los campos magnéticos, es decir, en la base se posicionan los imanes permanentes colocados en fila. Dentro de la base también encontramos los rieles, situados de manera paralela a los imanes a cierta altura de estos, los rieles son dos alambres conductores (cobre, por ejemplo).

Fuente de corriente: Se trata de una fuente de 1.5 A, que se conecta directamente a los rieles para generar la corriente eléctrica y de esta manera obtener el campo eléctrico.

Móvil: Será el elemento desplazable, se coloca encima de los rieles y se desplazará a través de estos gracias a la interacción de las fuerzas eléctricas y magnéticas. El móvil es un cilindro metálico (puede ser, por ejemplo, aluminio).

DIFERENCIAS DE UN MOTOR LINEAL CASERO A UNO INDUSTRIAL

A pesar de que el principio de funcionamiento de ambos es el mismo, este se ve aplicado en diferentes magnitudes debido a su utilización. Un motor casero es regularmente elaborado con fines experimentales y demostrativos, por lo que los materiales utilizados no son enfocados a que tengan la calidad suficiente para una vida útil muy larga, en cambio, los industriales si buscan esta característica, se busca que los materiales tengan muy marcadas algunas propiedades físicas como la resistencia, durabilidad, etc., con el fin, precisamente de que su vida útil sea lo adecuadamente larga, de acuerdo con las necesidades de la industria en la que se requiera. Otra diferencia es la potencia o eficiencia de los motores; para uno casero, en realidad no es necesario que alcance velocidades y/o aceleraciones muy grandes, tampoco se quiere de el desplazamiento del elemento móvil sea muy preciso, pero en un motor industrial, sí se buscan estas características, sobre todo la de eficiencia, puesto que una industria busca primordialmente reducir los gastos que conlleva la producción de bienes.

LISTA DE MATERIALES

Nombre	Descripción	Funcionalidad	Cantidad	Costo unitario	Costo Total	Disponibilidad
Tabla	Tabla madera 600 x 400 x 19.05 mm	La estructura principal del motor	1	\$60 MXN	\$60 MXN	Local, nacional
Imán	38 x 19 mm	Crear el campo magnético	6	\$136.83 MXN	\$820.95 MXN	Local, nacional, internacional
Solenoides	Cable de cobre AWG 22 (0.64 mm)	Crear el solenoide	12 m	\$4.5 MXN por metro	\$54 MXN	Local, nacional
Tornillo de hierro	Núcleo de hierro (38 x 19 x 6.35 mm)	Electroimán	1	\$1.28 MXN por tornillo	\$1.28 MXN por tornillo	Local, nacional

Fuente	Fuente de corriente de 1.5 A	Fuente de corriente constante	1	\$327 MXN	\$327 MXN	Local, nacional
Cable de prueba	Cable Móvil AWG 14 (1.63 mm)	Es el móvil que se mueve en los rieles.	1	\$2.95 MXN por metro	\$2.95 MXN por metro	Local, nacional
Soporte	Soporte de madera	Soporte de la estructura del motor	2	\$10 MXN	\$20 MXN	Local, nacional
AWG 11	Cable Calibre AWG 11 (2.35 mm)	Limitar el campo magnético y permitir la rotación del cilindro	2	\$109 MXN	\$218 MXN	Local, nacional, internacional

Lista de materiales (BOM)

Nº de elemento	Nº de pieza	Descripción	Cantidad
1	Tabla	Tabla de madera 600 x 40 x 19.05 mm	1
2	Imán	38 x 19 mm	6
3	Solenoide	Núcleo de hierro	1
4	1.5 A Current	Fuente de corriente	1
5	Cable de prueba	Cable móvil AWG 14 (1.63 mm)	1
6	Soporte	Soporte de madera para rieles	2
7	AWG 11 (2.35 mm)	Cable calibre AWG 11 para riel	2

El costo de tiempo de diseño así como mano de obra para montar el dispositivo es de \$985.76 MXN considerando que cada integrante del equipo empeño 16 horas de su tiempo y tomando en cuenta que el salario mínimo en México al día de hoy es de \$123.22 MXN. El costo total del motor lineal es de \$1504.18 MXN. Sería un total de \$2489.94 MXN en la realización del proyecto.

FRENADO POR INDUCCIÓN

PRINCIPIOS INVOLUCRADOS

[12] Sus principios base son:

la *Ley de Faraday*, que establece que el voltaje inducido en un circuito cerrado es directamente proporcional a la rapidez con que cambia en el tiempo el flujo magnético que atraviesa una superficie cualquiera con el circuito como borde.

La *ley de Lenz*, que nos dicta: "El sentido de las corrientes o fuerza electromotriz inducida es tal que se opone siempre a la causa que la produce, o sea, a la variación del flujo", definido por .

También, se toma en cuenta la *corriente de Foucault*, que es un fenómeno eléctrico que se produce cuando un conductor (metal) atraviesa un campo magnético variable. El movimiento relativo causa una circulación de electrones, o corriente inducida dentro del conductor. Estas corrientes circulares de Foucault crean electroimanes con campos magnéticos que se oponen al efecto del campo magnético aplicado.

IMPLEMENTACIÓN EN EL SISTEMA ANALIZADO

[13] Para este apartado se tomó como sistema analizado una propuesta de freno magnético que se muestra en la siguiente imagen:



Se trata de un sistema no transportable que busca recrear el funcionamiento de un freno magnético como los que se encuentran dentro de trenes de alta velocidad y camiones que cargan con grandes toneladas de peso.

El funcionamiento de esto es con un motor rotatorio, lo que sucede es que hay un disco que se encuentra girando entre dos bobinas que están generando un campo magnético, por esto, el disco generará pequeñas corrientes en la superficie del disco, las cuales son denominadas como Corrientes de Foucault, las cuales generarán también un campo magnético, que al interactuar con el campo de las bobinas, lo cual frenará eventualmente el disco, transformando energía y liberándola en forma de calor.

En nuestro motor implementamos un sistema similar, puesto que al final del recorrido, nuestro móvil se acerca a una bobina (solenoides) que cuenta con un campo magnético que frenará el móvil antes de que este termine el recorrido de los rieles.

ANÁLISIS DE LA POSIBILIDAD DE REALIZAR UN FRENADO REGENERATIVO EN EL MOTOR LINEAL MODELADO

[14] Primeramente, cabe señalar cuál es la característica de un frenado regenerativo. Este se trata de que, al momento de provocar dicho frenado en el dispositivo móvil, este vaya transformando su energía cinética a energía eléctrica, de manera que esta se almacene para su posterior uso. Se considera un sistema optimizador, ya que con este se pueden reducir costos, a partir de reducir la cantidad de energía implementada gracias al sistema de almacenamiento.

Consideramos que sí podríamos implementar este tipo de frenado en nuestro motor lineal, haciendo algunas modificaciones y agregando cierto sistema. Esto lo sustentamos con el experimento realizado en clase de Física II, en donde al acercar un imán a un solenoide se generaba energía eléctrica, y esto lo podíamos observar ya que el solenoide estaba conectado a un voltímetro. En nuestro motor lineal podríamos generar las condiciones para que esto suceda, podríamos colocar imanes casi al final del recorrido, y tratar de hacer que nuestro dispositivo móvil actúen en ese momento como un solenoide, de manera que al momento de que se acerque a los imanes, y justo antes de frenar, este genere energía eléctrica, para ello habría que conectar el móvil a un sistema de almacenamiento de energía, lo cual sería un tanto complicado ya que buscaríamos no alterar el funcionamiento del motor, y de hecho es posible que no se obtenga tanta energía a razón de lo anteriormente mencionado, pero lo vemos como una posibilidad clara de que sí se pueda implementar es tipo de frenado.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES INDIVIDUALES

Miguel Chávez

Durante este reto se llevó a cabo el análisis y modelación de un motor lineal, basándonos en los conceptos de electromagnetismo, específicamente los campos magnéticos, al ser este un sistema sustentado principalmente en la generación de estos campos con imanes y su frenado creando otro campo con mayor magnitud pero en sentido contrario, siendo este generado con un solenoide, a decir verdad, debo dejar en claro que al principio no llegué a conceptualizar como tal los temas presentados, sobre todo por la parte física, por lo que tuve que investigar conceptos y temas para poder entender cómo orientar esto a la parte conceptual del motor, cabe mencionar que el uso de las herramientas computacionales para la visualización de las líneas de flujo, me pareció la mejor forma para comprender un tema que ya de por sí me parece bastante abstracto, al mismo tiempo el poder ver las dimensiones de los efectos físicos involucrados hizo que todo esto fuese más intuitivo y comprensible.

El adentrarnos a el manejo de un BOM y de un dibujo técnico hizo que este reto no se viese solo como un proyecto escolar más pues el uso de este le hizo darle profesionalismo a este trabajo, hecho que a mí parecer es bastante correcto para el nivel de complejidad existente en el mismo.

Me pareció carecer de bastante orientación para involucrar los conceptos vistos en clase para el reto, me gustaría recomendar que los temas vistos en los módulos sean orientados de manera clara para lo que se busca en el reto, además de un sentimiento generalizado de falta de comunicación entre los docentes y de cómo llevar a cabo sus orientaciones hacia el alumnado.

Michelle Arceo

A partir de las investigaciones que se realizaron así como las simulaciones en MATLAB y el modelado en SOLIDWORKS comprendí el funcionamiento del motor lineal, mientras se fue realizando el proyecto yo continuaba yendo a la empresa Industrial en la que actualmente laboro y con el paso del tiempo me percaté que el motor lineal se encuentra más cerca de lo que imaginé, al poder observar las máquinas CNC y las fresadoras, actúan de igual forma que los motores lineales por lo que esto me ayudó a comprender más sobre el tema, hubo algunos problemas durante la realización del proyecto en la parte de SOLIDWORKS, comprendo que antes de realizar el bloque se tenía planeado el curso de SOLIDWORKS y por la contingencia se tuvo que cancelar pero ciertamente me hubiera gustado que se enseñara aunque sea en una sesión un poco del programa ya que hace tiempo que no lo utilizaba y me hacía falta práctica, si se me dificultó un poco pero nada que no se pudiera realizar volviéndose a familiar con el programa y también investigar más sobre sus aplicaciones y poder observar cómo funcionan, aunque no se pueda percibir el campo magnético a simple vista, el saber el funcionamiento ayuda a profundizar y comprender de la mejor manera en el comportamiento físico de estos motores. Me gusta creer que fue por la contingencia pero faltó comunicación y mayor disposición para el acompañamiento del reto, en algún momento tuve desacuerdos con el profesor y ocurrió que al inicio era de unas ciertas medidas partes del motor lineal, luego se me pedía que se modificara y al final volvíamos a lo que ya se había realizado, así que el cambio de elementos del proyecto atrasaba un poco el ritmo que se tenía planeado.

Tania López

Con este reto, y con las unidades de formación que vimos durante el tercer periodo considero que he reforzado algunos conocimientos en relación con los temas vistos y no solamente eso, también pude ver cómo de manera práctica estos se llevan a cabo. Pude ver cómo es que temas y conceptos que parecieran tan extraños, en realidad son más comunes de lo que me imaginaba, y están implícitos prácticamente en todas las actividades que forman parte de mi día a día. En este reto me pareció bastante interesante, pero siento que por la modalidad fue mucho más complicado de entender, creo que este tema es mucho mejor comprendido viéndolo de manera práctica, siento que haber construido el motor hubiera hecho más sencillo responder ciertas preguntas, como las de frenado, por ejemplo. Entiendo que esto ya fue un tema que estaba fuera de nuestro alcance y agradezco el esfuerzo. En la parte de física creo que todos los temas vistos fueron de valor para la resolución del reto, y también en la parte matemática. En la parte computacional creo que hubo algunos temas que yo omitiría, y ampliaría un poco más en los temas directamente relacionados con la elaboración del reto.

Pedro González

Al realizar este reto en el cual se tuvo que identificar los fenómenos físicos que se involucran en un motor lineal y el modelado de los mismos puedo llegar a la conclusión de que es una forma práctica y muy visual para ver cómo se comportan los diferentes cuerpos y efectos físicos, además de ver

claramente la implementación útil del estudio del electromagnetismo, a nivel personal debo decir que se me presentaron muchos inconvenientes al momento del reto pues si bien me doy una idea clara de lo que es un motor, siento que hubiese sido mejor haberlo implementado de forma física como era la idea original, sin embargo entiendo que por las diversas circunstancias actuales esto no haya sido posible, también otro inconveniente fue el nunca haber utilizado un software de modelado para el motor, hubiese preferido que la clase del módulo cuatro se haya centrado en el aprendizaje de SolidWorks y no en la resolución de métodos numéricos como venimos viendo ya hace bastante tiempo, pues se nos pedía algo que a términos generales no muchos habían visto o utilizado nunca.

También he de decir que me hubiese gustado más orientación sobre todo en la parte del módulo de MATLAB debido a que si bien entendíamos a nivel conceptual como hacerlo, no se nos presentaron ejemplos o una orientación más directa para el implementación de este conocimiento en los principios físicos del motor lineal.

En resumen este proyecto en definitiva me ayudó en observar y ver con detenimiento como la física, específicamente el electromagnetismo influye de forma práctica en demasiados elementos de la vida cotidiana y como este a su vez se puede relacionar con temas como las ecuaciones diferenciales y los modelados 3D.

REFERENCIAS

[1] Yosse, T. (2019). Aplicaciones de los motores lineales. Consultado el 14 de mayo de 2020. Urany, sitio web: <https://urany.net/blog/aplicaciones-de-los-motores-lineales>

[2] Ilustración 1.

[3] [4] González, D. (2011, abril). DISEÑO, CÁLCULO Y ANÁLISIS DE LA APLICACIÓN DE UN MOTOR LINEAL SÍNCRONO CON IMANES PERMANENTES . Recuperado 8 de junio de 2020, de <https://core.ac.uk/download/pdf/30044286.pdf>

[5] ETEL. (s. f.). ¿QUE ES UN MOTOR LINEAL? - PRINCIPIO. Recuperado 8 de junio de 2020, de <https://www.etel.ch/es/motores-lineales/principio/#:%7E:text=Los%20motores%20lineales%20son%20una,servo%20motor%20s%C3%ADncrono%20sin%20escobillas.&text=Mediante%20la%20interacci%C3%B3n%20electromagn%C3%A9tica%20entre,un%20alto%20nivel%20de%20eficiencia.>

[6] Velasco, C. (s. f.). -Principales Leyes en la Electricidad y el magnetismo - Máquinas Eléctricas Carlos. Recuperado 8 de junio de 2020, de <https://sites.google.com/site/maquinaselectricascarlos/clients/principales-leyes-en-la-electricidad-y-el-magnetismo>

[7] [8] [9] Fernández, J., & Coronado, G. (s. f.-d). Teorema de Ampère. Recuperado 8 de junio de 2020, de <https://www.fisicalab.com/apartado/ley-de-ampere>

[10] Fernández, J., & Coronado, G. (s. f.-a). Ley de Ohm. Recuperado 8 de junio de 2020, de <https://www.fisicalab.com/apartado/ley-de-ohm>

[11] Fernández, J., & Coronado, G. (s. f.-a). La ley de Gauss y el flujo eléctrico. Recuperado 8 de junio de 2020, de <https://www.fisicalab.com/apartado/teorema-gauss>

[12] Parra, N. (2016, 31 mayo). Frenado magnético por inducción. Recuperado 8 de junio de 2020, de <https://prezi.com/w1tc7rdk9v0w/frenado-magnetico-por-induccion/>

[13] Frenado Magnético. (s. f.). Recuperado 8 de junio de 2020, de https://www.ucm.es/data/cont/docs/76-2013-07-11-25_Magnetic_brake.pdf

[14] García, E. R. (2019, 24 julio). Frenos regenerativos: qué son y por qué ahorran dinero y consumo. Recuperado 8 de junio de 2020, de https://www.elespanol.com/omicrono/20180203/frenos-regenerativos-ahorran-dinero-consumo/28222514_0.html