

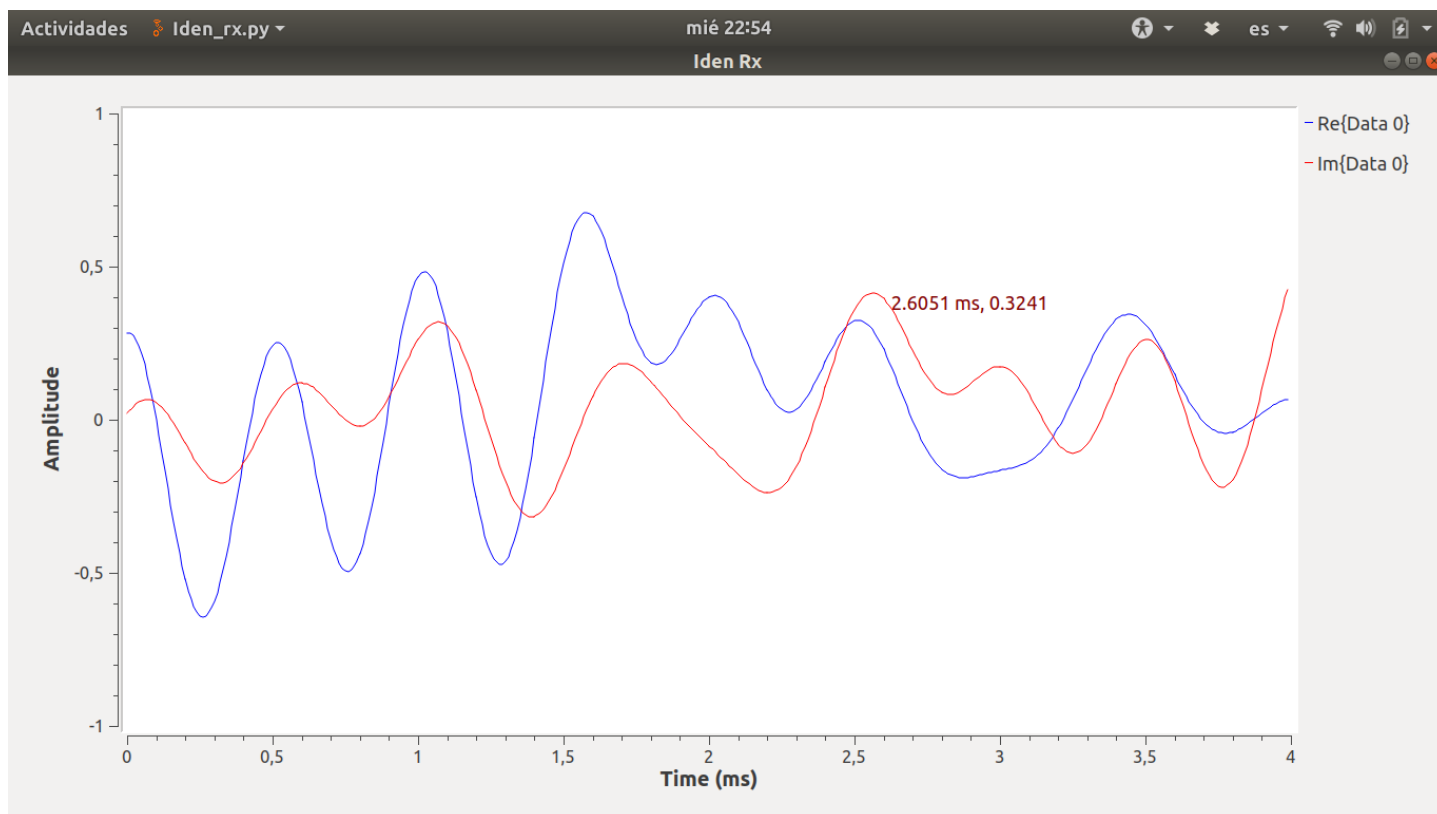
Ronal Montoya's Blog

Parametrización del bloque Polyphase Clock Sinc (sincronizador de reloj tipo filtro polifase) en GNU Radio

Posted on ~~April 22, 2018~~ April 27, 2018 by Ronal D. Montoya M.

Estos días que he estado tratando de demodular una señal iDEN ([https://www.sigidwiki.com/wiki/Integrated_Digital_Enhanced_Network_\(iDEN\)\)](https://www.sigidwiki.com/wiki/Integrated_Digital_Enhanced_Network_(iDEN))), me he enfrentado a un problema que me ha aportado mucho: cómo pasar la señal del dominio del tiempo al dominio de los símbolos? Es decir, cómo convierto una señal que está en el dominio del tiempo en un punto de una constelación o espacio de representación?

Los símbolos emitidos por iDEN corresponden con una modulación 16 QAM, conformados estos con un filtro raíz coseno alzado (respuesta al impulso del filtro). Al aplicarles el filtro acoplado (https://en.wikipedia.org/wiki/Matched_filter) en el receptor (convolución con el mismo filtro raíz coseno alzado usado en el transmisor), los pulsos toman forma de coseno alzado, tal como se muestra en la siguiente gráfica (en las implementaciones reales no se usa el pulso raíz coseno alzado completo, sino truncado en su dominio).

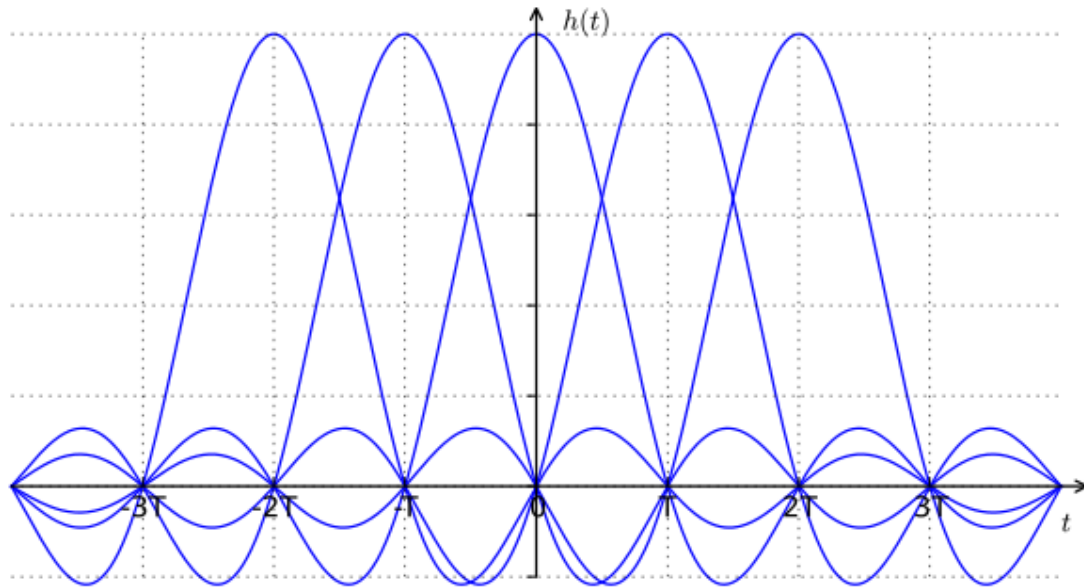


Estos símbolos corresponden con una modulación tipo PAM, los cuales no cruzan necesariamente por cero cada vez que sucede un nuevo símbolo, por lo que técnicas de sincronización basadas en el método de Mueller & Muller no son viables, ya que esta técnica necesita que por cada símbolo haya al menos un cruce por cero. Por tal razón no se pueden recibir modulaciones en fase y/o cuadratura en GNU Radio con el bloque Clock Recovery MM

(https://www.tablix.org/~avian/blog/archives/2015/03/notes_on_m_m_clock_recovery/). (Mueller y Muller), así que requerimos un bloque de sincronización diferente y ese es el Polyphase Clock Sinc (sincronizador de reloj polifase). En esta entrada pretendo explicar su funcionamiento.

El problema de la sincronización de símbolos

Analicemos la siguiente gráfica que describe la superposición de símbolos coseno alzado (https://en.wikipedia.org/wiki/Raised-cosine_filter) en el dominio del tiempo equiespaciados una distancia temporal T .



Si queremos muestrear este tren de pulsos de forma tal que en cada muestra obtengamos el valor del pulso respectivo sin tomar valores de los demás, tendremos que tomar muestras en $\dots, -3T, -2T, -T, 0, T, 2T, 3T, \dots$, es decir, tomar muestra en múltiplos de T . Es sólo en estos puntos donde sólo un pulso tiene valor, el cual corresponde con su máximo, y los demás son cero (criterio de Nyquist (https://es.wikipedia.org/wiki/Primer_criterio_de_Nyquist)). Nuestro problema es entonces encontrar la señal de reloj que nos permita tomar en esos puntos exactos las muestras y tomarlas claro está. Es la forma de evitar la interferencia intersímbolo (ISI) y recuperar nuestros símbolos complejos transmitidos.

Bloque sincronizador de reloj polifase

Nota: Esta parte la he tomado de la ayuda del bloque en GNU Radio y del paper "Multirate digital filters for symbol timing synchronization in software defined radios" (<https://ieeexplore.ieee.org/document/974601/>), de F. Harris y M. Rice, con algunas aclaraciones mías (la implementación del bloque se basa en este paper).

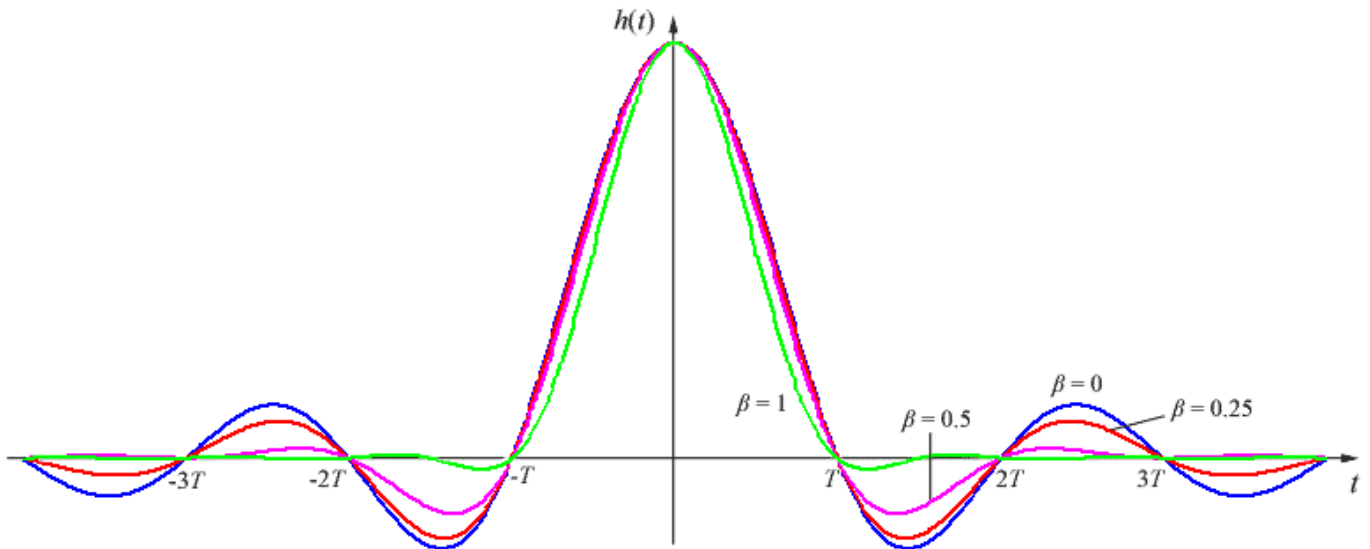
Advertisements

REPORT THIS AD

Este bloque implementa el filtro acoplado (MF), la sincronización de reloj y la recuperación de símbolos en receptores de señales síncronas PAM (moduladas en ancho de pulso), mediante la minimización de la primera derivada de la señal a la salida del filtro acoplado, lo que maximiza el SNR (relación señal a ruido) y minimiza el ISI (interferencia inter símbolo). Su algoritmo pone en funcionamiento dos bancos de filtros: en el primero ejecuta la conformación de símbolos mediante el filtro acoplado, en donde cada rama del filtro polifase contiene un filtro acoplado con un desfase diferente. El segundo banco de filtros ejecuta las primeras derivadas de los filtros del banco anterior.

Si nos ubicamos en el dominio temporal y usando pulsos raíz coseno alzado, el primer banco de filtros conforma la señal con pulsos coseno alzado, que tienen una forma del tipo $\text{sinc}(x)$ [$\text{sinc}(x) = \text{Seno}(x)/x$] y cumplen el criterio de Nyquist. La intención es muestrear lo más cerca posible del máximo de esta señal, valor que representa el símbolo recibido luego de la convolución con el filtro acoplado (la energía del

símbolo). La primera derivada de la señal $\text{sinc}(x)$ (<https://www.chegg.com/homework-help/consider-unipolar-binary-pam-signal-whose-pulse-shape-raised-chapter-11.1-problem-15p-solution-9780073380407-exc>) en el máximo es cero, es decir $\text{sinc}(0) = 1$ y $\text{sinc}'(x) = 0$. La región cercana al punto $x = 0$ en $\text{sinc}'(x)$ es relativamente lineal (pendiente negativa), por lo que esta implementación hace uso de tal hecho para generar la señal de error.

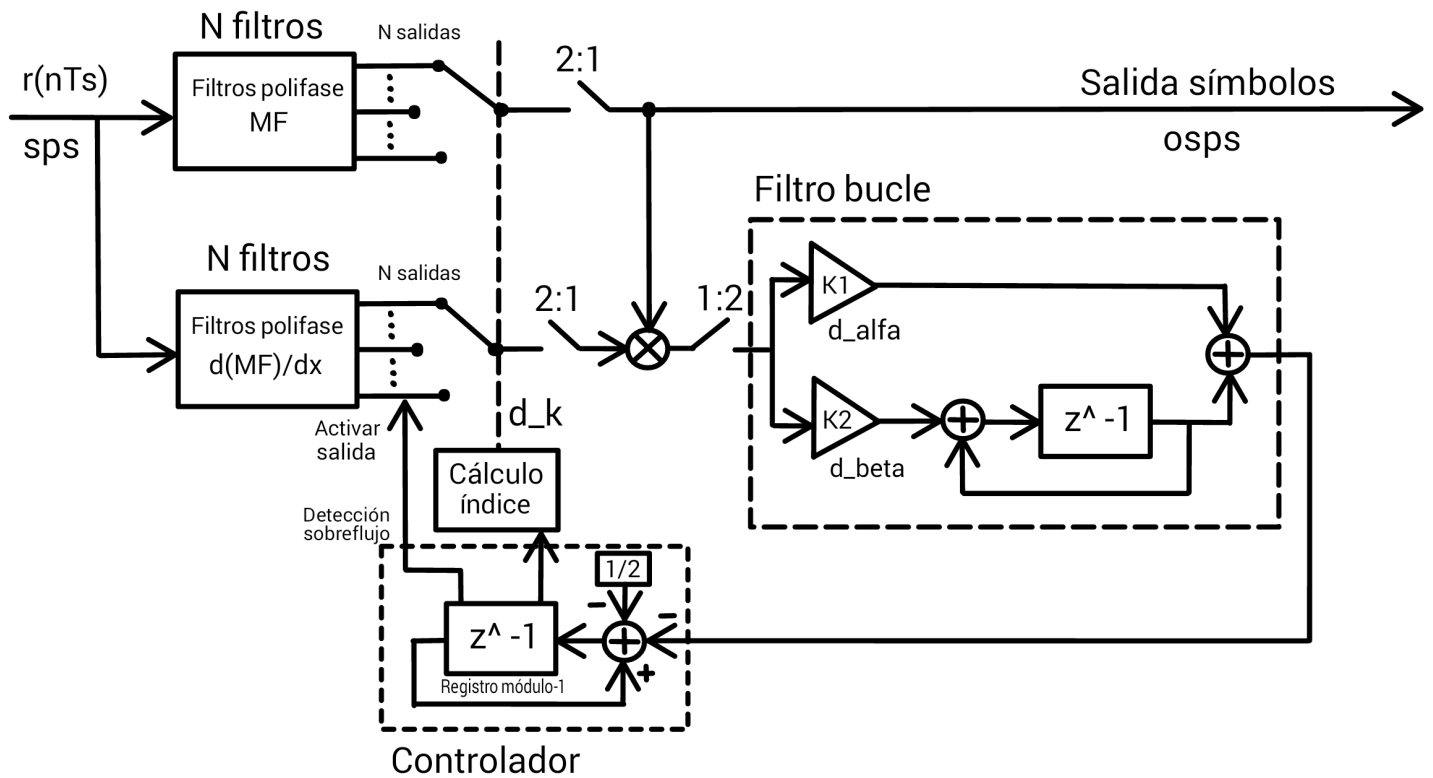


Si la señal discreta que sale del filtro acoplado derivador i -ésimo es $d_i[n]$ y su correspondiente i -ésima señal de salida en el banco de filtros acoplados es $x_i[n]$, la señal de error promedio $e[n]$ se calcula con la siguiente expresión:

$$e[n] = (\text{Re}\{x_i[n]\} * \text{Re}\{d_i[n]\} + \text{Im}\{x_i[n]\} * \text{Im}\{d_i[n]\}) / 2.0$$

Como puede verse, $e[n]$ es la media de las partes reales y complejas de las salidas de los filtros i -ésimos de cada banco. Existen dos razones para multiplicar la señal por su derivada. En primer lugar, el símbolo podría ser positivo o negativo pero esperamos que el error nos diga siempre en qué dirección vamos, dependiendo si estamos por encima o debajo del eje cero, o si estamos atrasados o adelantados respecto de $x = 0$. El signo de $x_i[n]$ ajusta el error para que esto se cumpla. La segunda razón es que la magnitud de $x_i[n]$ escala el error dependiendo de la amplitud del símbolo, así que símbolos con mayor amplitud nos arrojan un error mayor porque la pendiente de la curva es mayor. Usar la magnitud de $x_i[n]$ en vez de sólo su signo es especialmente deseable para señales con bajo SNR (señales muy débiles).

La señal de error $e[n]$ nos entrega un valor proporcional a qué tan lejos del punto cero ($x = 0$) está la señal derivada. Necesitamos llevar el valor a cero, por lo que se implementa un bucle de segundo orden. Se tienen dos variables para este lazo: d_k es el número del filtro en el banco correspondiente y d_{rate} es la tasa a la cual muestreamos los filtros en estado estable. Esto es debido a la diferencia natural de relojes entre el transmisor y el receptor, por lo que d_{rate} representa esa diferencia y atravesaría las trayectorias de fase del filtro para mantener el receptor enganchado. Pensando este sistema como un PLL (<http://literature.cdn.keysight.com/litweb/pdf/ads2005a/timed/cstimA3.html>) (bucle de enganche de fase) de segundo orden, d_{rate} es la frecuencia y d_k la fase, el cual actualiza d_{rate} y d_k usando ecuaciones de bucle estándar basado en dos señales de error, d_{α} y d_{β} . Estos dos valores se seleccionan basados en el otro, y el resultado es ingresado a un sistema críticamente amortiguado de orden 2, tal que en el bloque constructor sólo se pregunta por la ganancia g , la cual cumple que $g = d_{\alpha}$ y $d_{\beta} = (g^2)/4$.



Los parámetros del bloque son:

- **sps**: Número de muestras por símbolo a la entrada. Es preciso conocer el número de muestras por símbolo a la entrada porque por defecto el bloque entrega una muestra por símbolo. Este valor es un real positivo, no necesariamente natural.
- **loop_bw**: El ancho de banda de realimentación (esta es la ganancia g). Es utilizado para establecer la ganancia del lazo interno de realimentación (ver: <http://gnuradio.squarespace.com/blog/2011/8/13/control-loop-gain-values.html> (<https://gnuradio.squarespace.com/blog/2011/8/13/control-loop-gain-values.html>)). Debe de ser un valor pequeño. Un valor de alrededor $2\pi/100$ se sigue en el enlace, el cual corresponde con una subdivisión de la circunferencia unitaria en 100 trozos (en radianes), el cual determina el tamaño del paso para moverse con respecto al error.
- **taps**: Uno de los parámetros más importantes para este bloque son los coeficientes (taps) del filtro. Uno de los beneficios de implementación del bloque es que usted puede definir el filtro acoplado directamente en este bloque, lo que permite tener el filtro acoplado y la corrección de tiempo de muestreo de manera simultánea. Así que los taps corresponden al filtro acoplado, que para una típica modulación digital es del tipo raíz coseno alzado. El número de taps de este filtro está basado en qué tan largo (dispersión temporal, longitud del enlace) usted espera que sea su canal, esto se traduce en cuántos símbolos usted quiere combinar para obtener la energía de los símbolos de vuelta. Por lo general se combinan de 5 a 10, o valores cercanos (es probable que haya una mejor manera de establecer esto). Una vez diseñado el filtro acoplado necesitamos tener en cuenta que ese filtro tendrá un desfase diferente en cada filtro del banco, por lo que ese número debe de ser multiplicado por el número de filtros del banco. El producto de estos dos valores nos dará el número de taps del filtro acoplado prototipo a utilizar. Cuando usted usa el banco de filtros, este segmenta estos taps dentro del banco de una forma que cada filtro de este tendrá una fase diferente equiespaciadas $2\pi/N$, donde N es el número de filtros del banco.
- **filter_size**: (por defecto = 32) El número de filtros N puede ser el mismo que viene por defecto. Con este valor usted obtiene una buena resolución en la fase tal que el ISI producido es prácticamente imperceptible. Utilizar 64 filtros puede reducir más el ISI, pero se gana muy poco comparado con el incremento significativo de la complejidad del bloque.

- **init_phase:** (por defecto = 0) La fase inicial es otro parámetro configurable y define la ruta del filtro que el algoritmo evalúa primero, esto es en qué valor inicia d_k ($d_k = \text{init_phase}$). Puede ser útil iniciar en un punto de fase diferente al por defecto, tal como el punto medio del filtro ($\text{init_phase} = \pi$).
- **max_rate_deviation:** (por defecto = 1.5) Este parámetro define qué tanto permitimos que d_{rate} oscile positiva o negativamente desde 0. Limitar esta tasa puede ayudar a mantener el algoritmo dando pasos desde muy lejos hasta el enganche durante periodos en que no haya señal.
- **osps:** (por defecto = 1) Salida en número de muestras por símbolo. Por defecto el algoritmo produce una muestra por símbolo (cambio del dominio temporal al plano complejo). Este valor puede ser incrementado para trabajar con ecualizadores, los cuales modelan mejor el canal si tenemos 2 muestras por símbolo.

Como ejercicio de uso propongo revisar la implementación del sistema 4-QAM completo descrito en esta entrada de mi [blog](https://rdmontoya.wordpress.com/2018/01/07/implementacion-de-moduladores-digitales-m-qam-m-psk-gmsk-y-gfsk-con-gnu-radio-y-el-usrp-ni-2900/) (<https://rdmontoya.wordpress.com/2018/01/07/implementacion-de-moduladores-digitales-m-qam-m-psk-gmsk-y-gfsk-con-gnu-radio-y-el-usrp-ni-2900/>).

Sponsored Content

[Photos] Everyday Miracles: Dubai's Remarkable Realities Doctor Report | Sponsored
(https://r1-usc1.zemanta.com/rp2/b1_outbrainrtb/52686724/145747614/ZCMPEH7ETBX6DXRXRMAQ4X4LHNO4H5PPEFYSEFVPQJ4G7527TCUJKXZV55IA2PJ7W63MAGCSGHVFPUKSUJUYYKYOYZUSYLHK7IENMMGCMVURH4H3IL2DWMY6AFG7UXVAWRWSI6NYNTGU5ZO74SWGKO7S4YVG2RBCTONXTNABVFHTIK5R4XROJC7K54OLOE4NJJPYUWCI2KOGW5ERYWVZVWUIUKMYSF3ADHGF2FX44FVFA6QIJWDXDYCYH4OTYFXSA6SMGQHQILTOTD766DGQJGTFTDG7YBWPXVJF7TSCQTTSH477DRGT4NRHBH2DFNHOV5V6LJ6OEJ53OZDZJLPQHJ63PU3DMQIKXYLBYMGTWM3A2RSULVW2P6ZZLXUOSO46O4PJK4DL5SE5NT7VRRLQMONC7KZBR6UQUEGJ655ULWBF67EB2F6C5DNTAOFQMUIGJK5YS6L5FGALJSJVKWMNHCLQ7YIAGSX5WQ6HICLFLOPBZRRJ6TY2YI2JP6WBJIPNXVTASMG2S3UESOLEZKXQLBCYQYQV3JWXJJ7FEC355WLBGWZFGFCZKJXWLALQALSB2J7XELZWOUJPYOPND6NJMTFSKFI2MLRQR3CMMLW2KMPNIX34KBCHVGLJWUSQLIIZG4YZF3K27CYQ7USXJRX45L6KJSXNLNIMZMDE)

[Fotos] Mujer jirafa finalmente se quita los anillos después de cinco años DailySportX | Sponsored
([https://rfvtgb.dailysportx.com/worldwide/giraff-ob-sp?utm_source=outbrainjk&utm_campaign=ds-giraff-bc2-sv03-win-2w-rl-30083d&utm_term=\\$section_name&utm_medium=\\$section_id&utm_bid=\\$cpc&obOrigUrl=true](https://rfvtgb.dailysportx.com/worldwide/giraff-ob-sp?utm_source=outbrainjk&utm_campaign=ds-giraff-bc2-sv03-win-2w-rl-30083d&utm_term=$section_name&utm_medium=$section_id&utm_bid=$cpc&obOrigUrl=true))

[Fotos] Fallos de películas que son demasiado buenos para ser verdad xfreehub | Sponsored
([https://rfvtgb.xfreehub.com/worldwide/wardro-ob-sp?utm_source=outbrainjk&utm_campaign=xf-wardro-des-2w-ct-03063d&utm_term=\\$section_name&utm_medium=\\$section_id&utm_bid=\\$cpc&obOrigUrl=true](https://rfvtgb.xfreehub.com/worldwide/wardro-ob-sp?utm_source=outbrainjk&utm_campaign=xf-wardro-des-2w-ct-03063d&utm_term=$section_name&utm_medium=$section_id&utm_bid=$cpc&obOrigUrl=true))

FZMD3LX27WMQR6NKG44MM
2XUJFASHNCW7R6FZCSERA5Q
MRXDWMKNYXN6JXXYTJAP7
MPI622R7UIYUACFUIIWEDGIE
MPQ6RIHMQBJYAIPYHJOZHIG
BYFHGSKIPCA25AE35VUT44V
2AJHIIHKQWBWU5SPY2LIB5KA
RFOGV4ODKDS5Q5SUJIO74QG
YKSUHQ7P6YNVILHQHIVKBD
B3ND7YHELE5P2ODMRKQYDI
VB36J66G4OYPBI7FB5EBJEPKBN
HUOFUPE6MZBAMPNETQL7F
WYZCZEZ5FH5FLKILHBZMK6D
5EOBOD2ROYFQAPJ6WGLHM
ZI3VEZPGEXAKAGDVMKML3U
R4FOCASQVOQQCXSDCRT5O
H3XJ4FBNSKBGLAZ4AKACGE4
RWKQTDZ66NSHKA7ETXDXRV
DOXMWZEW7BLWZV6EZ4FMV
YP4FXXSMFDXMWRIG5YO4X2V
7DWOBZTYJ5QQ/?
obOrigUrl=true)

[Fotos] Esto es real, y sólo sucede en Brasil Investing Magazin | Sponsored

([https://mx.investing.com/magazine/mas-de-25-cosas-unicas-que-solo-puedes-encontrar-en-brasil/?utm_source=Outbrain&utm_medium=cpm&utm_campaign=003b56fc2a93c35d439863f6ed8bd77a43&utm_content=%5BFotos%5D+Esto+es+real%2C+y+s%3%B3lo+sucede+en+Brasil&utm_term=\\$publisher_name\\$&utm_medium=\\$section_name\\$&utm_origin=outbrain&utm_params\[ad_id\]=008d73db70b56574b72e19e0e06d3ae7c1&utm_params\[doc_title\]=M%C3%A1s+de+25+cosas+%C3%B3lo+sucede+en+Brasil&utm_params\[doc_author\]=M%C3%A1s+de+25+cosas+%C3%B3lo+sucede+en+Brasil&utm_params\[doc_id\]=00e9166e540ca73fee1a4aafa9350d5ad1&utm_params\[ad_title\]=%5BFotos%5D+Esto+es+real%2C+y+s%3%B3lo+sucede+en+Brasil&utm_params\[publish_date\]=20230731&utm_params\[req_id\]=\\$req_id\\$&utm_params\[source_id\]=\\$source_id\\$&utm_params\[promoted_link_id\]=008d73db70](https://mx.investing.com/magazine/mas-de-25-cosas-unicas-que-solo-puedes-encontrar-en-brasil/?utm_source=Outbrain&utm_medium=cpm&utm_campaign=003b56fc2a93c35d439863f6ed8bd77a43&utm_content=%5BFotos%5D+Esto+es+real%2C+y+s%3%B3lo+sucede+en+Brasil&utm_term=$publisher_name$&utm_medium=$section_name$&utm_origin=outbrain&utm_params[ad_id]=008d73db70b56574b72e19e0e06d3ae7c1&utm_params[doc_title]=M%C3%A1s+de+25+cosas+%C3%B3lo+sucede+en+Brasil&utm_params[doc_author]=M%C3%A1s+de+25+cosas+%C3%B3lo+sucede+en+Brasil&utm_params[doc_id]=00e9166e540ca73fee1a4aafa9350d5ad1&utm_params[ad_title]=%5BFotos%5D+Esto+es+real%2C+y+s%3%B3lo+sucede+en+Brasil&utm_params[publish_date]=20230731&utm_params[req_id]=req_id&utm_params[source_id]=$source_id$&utm_params[promoted_link_id]=008d73db70))

Truco simple para limpiar el piso sin esfuerzo CleanRobot | Sponsored

(<https://clean-robot.org/es-t/?obOrigUrl=true>)

[Fotos] Un niño mimado tomó 3 asientos en el metro mientras su madre lo ignoraba, así que un extraño heroico le enseñó una lección Doithouses | Sponsored
([https://rfvtgb.doithouses.com/worldwide/lesson-ob-sp?utm_source=outbrainjk&utm_campaign=dh-lesson-des-2w-mm-25102d&utm_term=\\$section_name\\$&utm_medium=\\$section_id\\$&utm_bid=\\$cpic\\$&obOrigUrl=true](https://rfvtgb.doithouses.com/worldwide/lesson-ob-sp?utm_source=outbrainjk&utm_campaign=dh-lesson-des-2w-mm-25102d&utm_term=$section_name$&utm_medium=$section_id$&utm_bid=$cpic$&obOrigUrl=true))

b56574b72e19e0e06d3ae7c1&outbrain_params[time_stamp]=\$time_stamp&outbrain_params[campaign_id]=003b56fc2a93c35d439863f6ed8bd77a43&outbrain_params[uuid]=\$uuid&outbrain_params[section_id]=\$section_id&outbrain_params[section_name]=\$section_name&outbrain_params[publisher_id]=\$publisher_id&outbrain_params[publisher_name]=\$publisher_name&outbrain_params[ob_click_id]=\$ob_click_id&outbrain_params[android_id]=\$android_id&outbrain_params[idfa]=\$idfa&outbrain_params[cpc]=\$cpc&im_data=1x100_3x123_5x780_7x235&obOrigUrl=true)

[Fotos] Divertidas fotos de playa que no salieron como se había previsto <https://www.megazinos.com/> | Sponsored (https://rfvtgb.megazinos.com/worldwide/beach-cp-ob-sp?utm_source=outbrainjk&utm_campaign=mz-beach-bc1-des-2w-mm-25013d&utm_term=\$section_name&utm_medium=\$section_id&utm_bid=\$cpc&obOrigUrl=true)



Errores al vestir que todo el mundo debería evitar para siempre Housediver | Sponsored (https://rfvtgb.housediver.com/worldwide/stiog-ob-sp?utm_source=outbrainjk&utm_campaign=hd-stiog-bc3-des-2w-mm-31013d&utm_term=\$section_name&utm_medium=\$section_id&utm_bid=\$cpc&obOrigUrl=true)

[Fotos] 28 actores que fueron atletas increíbles Learnitwise | Sponsored (https://rfvtgb.learnitwise.com/worldwide/actsp-ob-sp?utm_source=outbrainjk&utm_campaign=lw-actsp-des-2w-ct-06102d&utm_term=\$section_name&utm_medium=\$section_id&utm_bid=\$cpc&obOrigUrl=true)