

## Comparativa de panel solar monocristalino 0 y 20° vs policristalino 0 y 20° de inclinación en Puerto Vallarta

### Comparison of solar panel monocristalino 0 and 20 ° vs policristalino 0 and 20 ° of inclination in Puerto Vallarta

PAREDES-VÁZQUEZ, Cesar Paul\*†, FLETES-CAMACHO, Noé Guadalupe y DIBENE-ARREOLA, Luis Martin

*Universidad Tecnológica de Bahía de Banderas, División Ingenierías*

ID 1<sup>er</sup> Autor: Cesar Paul, Paredes-Vázquez / ORC ID: 0000-0002-4408-9487

ID 1<sup>er</sup> Coautor: Noé Guadalupe, Fletes-Camacho

ID 2<sup>do</sup> Coautor: Luis Martin, Dibene-Arreola / CVU CONACYT ID: 412156

Recibido Marzo 27, 2018; Aceptado Junio 30, 2018

#### Resumen

Con esta investigación se busca determinar cuál es la diferencia de energía eléctrica (KWH) que resulta de elegir entre paneles solares de silicio monocristalino o policristalino, además si el diseño del inmueble no permite hacer la inclinación recomendada de los paneles se podrá tener el dato de la generación de esos mismo paneles a 0° y a 20°, en un clima costero como la ciudad de Puerto Vallarta, Jalisco. El sistema a medir cuenta con paneles solares de la marca Solartec modelos; 2 paneles S60-PC250 y 2 paneles S60-MC250 conectados a dos micro inversores marca APS modelo YC500 junto con un sistema de monitoreo y registro de datos. Dicho sistema se tiene grabando y registrando desde el día 1 de abril de 2017, completando la base de datos de un año en 2018 se pretende contribuir a los integradores de sistemas solares y sociedad estudiantil con información real para tomar decisiones sobre sus proyectos. Como dato adicional, el sistema en ningún día se le dio algún tipo de mantenimiento como (limpieza de cubiertas, micros, etc). Toda la información será comparada con datos registrados por piranómetros instalados a escasos 40 metros y a la misma altura.

#### Policristalino Monocristalino Eficiente

#### Abstract

This investigation define what is the difference of the electrical energy (KWH) presented in a comparative between solar panels of monocrystalline silicon or polycrystalline silicon, besides if the design of the property doesn't permit to do the inclination recommended for the panels, the investigation could be developed with the generation of these ones at 0° and 20°, in a coastal weather like the city of Puerto Vallarta, Jalisco. The system to measure has two different solar panels of the brand Solartec, with two models of S60-PC250 and another two of S60-MC250, connected to two microinversors of the brand APS model YC500 with a system of monitory and a data register that has been making recorderings since the 1rst of April 2017. Completing the data base of a year in 2018, we pretend to contribute with real information for the integrators of solars systems and the student society to make concrete desitions on their upcoming projects. As additional fact, the system didn't have any kind of manteinance like (cleaning of covers, micros, etc). All the information will be compared with the data registred by pyranometers installed at 40 meters up the panels, and others at the same height of these ones.

#### Polycrystalline Monocrystalline Efficient

**Citación:** PAREDES-VÁZQUEZ, Cesar Paul, FLETES-CAMACHO, Noé Guadalupe y DIBENE-ARREOLA, Luis Martin. Comparativa de panel solar monocristalino 0 y 20° vs policristalino 0 y 20° de inclinación en Puerto Vallarta. Revista del Desarrollo Tecnológico. 2018. 2-6: 1-7.

† Investigador contribuyendo como primer autor.

\*Correspondencia al Autor Correo Electrónico: (cparedes@utbb.edu.mx)

**Introducción**

La energía solar fotovoltaica se basa en la utilización de células solares o fotovoltaicas, fabricadas con materiales semiconductores cristalinos que, por efecto fotovoltaico, generan corriente eléctrica cuando sobre los mismos incide la radiación solar. El silicio es la base de la mayoría de los materiales más ampliamente utilizados en el mundo para la construcción de células solares (Collado, Castro, Colmenar, & Calero, 2013). La industria fotovoltaica ha ido creciendo a gran escala en lo residencial, comercial e industrial, sin embargo, un mismo panel puede ser instalado en cualquier industria.

Conforme se desarrollan nuevas técnicas de fabricación y nuevos materiales se logran mejores eficiencias, sin duda, un factor importante que definiría cuando un sistema fijo generaría más energía es la inclinación y orientación independiente si el tipo de silicio. En la presente investigación son utilizados 4 paneles y 2 micro inversores fabricado con fines comerciales en común, es decir, tomar productos del mercado y ponerlos a prueba, para determinar cuál es la ganancia de generación instalándolos a determinada inclinación y si es policristalino o monocristalino, no decir cual producto es mejor.

Los paneles usados son; 4 paneles marca Solartec en dos versiones, 2 policristalinos modelo S60-PC250 y 2 monocristalinos modelo S60-MC250. Dichos paneles conectados a dos micro inversores marca APS modelo YC500.

De los primeros conceptos que se quedan grabados cuando se comienza a aprender sobre energía solar son: “Los paneles solares se orientan al sur” y “Los paneles se deben inclinar según la latitud del lugar” (Perez, s.f.).

Las empresas que actualmente se dedican a las instalaciones fotovoltaicas carecen de información especializada de ciertas zonas, por ello la importancia de desarrollar fuentes de información confiable.

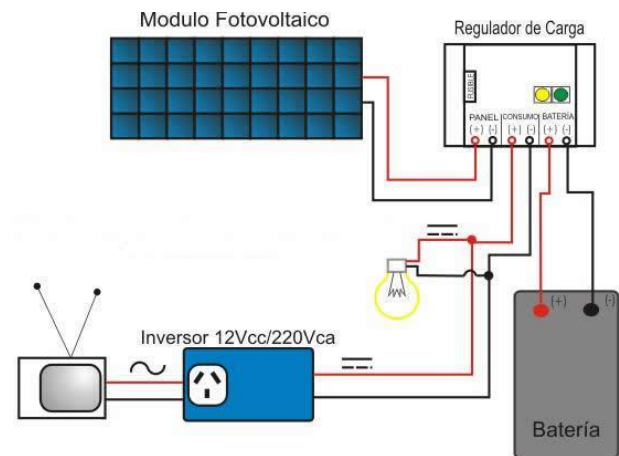
La investigación se dividió básicamente en tres etapas; Instalación y puesta en marcha, concentrado de toda la información y análisis. Esas etapas fueron en un periodo de abril 2017 a marzo 2018 para poder completar mínimo un año de registro.

**Fundamentos**

Un sistema fotovoltaico es el conjunto de componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos que concurren para captar la energía solar disponible y transformarla en utilizable como energía eléctrica, de estas existen básicamente dos tipos de sistemas fotovoltaicos; autónomos e interconectados. (Mendez, 2007).

**Sistemas aislados**

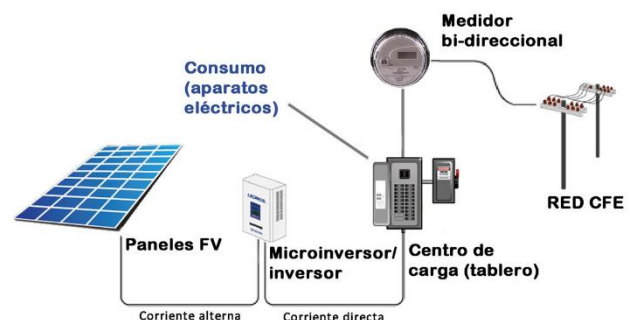
Tienen como objeto satisfacer total o parcialmente la demanda de energía eléctrica en aquellos lugares donde no existe red eléctrica de distribución o es de difícil acceso. La figura 1 muestra un esquema general de un sistema fotovoltaico autónomo, mostrando sus elementos más comunes y principales.



**Figura 1** Esquema de sistema autónomo  
Fuente: conermex, 2014

**Sistema de conexión a red**

Los sistemas conectados a red no tienen sistemas de acumulación, ya que la energía producida durante las horas de insolación es canalizada a la red eléctrica. En la figura 2 se muestra un esquema general de un sistema general de conexión a la red mostrando sus elementos comunes y principales.



**Figura 2** Esquema de un sistema conectado a la red  
Fuente: greensun, 2015

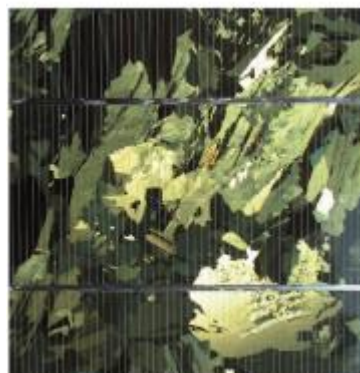
Las instalaciones fotovoltaicas descritas anteriormente, tienen un precio elevado. Si se considera este precio como una amortización a lo largo de varios años repercutiéndolo como coste de la electricidad, en general no es competitivo con los precios del mercado. Este hecho debería variar con el tiempo; los sistemas fotovoltaicos deber de evolucionar y conseguir mayores rendimientos, es decir, que los paneles con el mismo tamaño obtendrán más energía. (Mendez, 2007).

Uno de los elementos principales, si no el principal, del cual viene el nombre de sistemas fotovoltaicos, son los paneles solares. Siguen teniendo la misma forma, pero solo los diferencia comúnmente dos tipos de silicio; monocristalino y policristalino, cada uno con características especiales y eficiencias.

**Células de silicio monocristalino:** Poseen una estructura muy uniforme. Se fabrican en cilindros que posteriormente se cortan en obleas; su fabricación es lenta y consume mucha energía. Las mejoras de eficiencia del silicio policristalino han hecho disminuir la presencia en el mercado de las células monocristalino. Tradicionalmente más caro que el silicio policristalino, el precio de ambos de ha aproximado en gran medida a día de hoy.

**Células de silicio policristalino:** tiene una estructura no uniforme; se fabrican en moldes rectangulares, y su, coste de fabricación es menor que el silicio monocristalino. Hoy en día, la mayor parte de los paneles que se comercializan están formados por silicio policristalino. Le eficiencia de las celular policristalinas hasta hace unos años era sensiblemente más baja que la eficiencia de las de silicio monocristalino, sin embargo, el rendimiento del primero viene igualando, en los últimos tiempos, el del segundo.

Los paneles de silicio policristalino poseen en 2010 una eficiencia de entre el 13 y el 16 por ciento, si bien se trata de valores que aumentan sensiblemente cada año. (Moro, 2010). En la figura 3 se muestra la comparativa entre una célula monocristalina y una policristalina.



**Figura 3** Comparación de una célula de silicio monocristalina (arriba) y una de silicio policristalino (abajo)

*Fuente: Instalaciones solares fotovoltaicas, 2010)*

En la célula fotovoltaica tienen lugar una serie de pérdidas que limitan su rendimiento, de modo que solo pueden extraer una parte de la energía solar que incide sobre ella:

Sombra causada por la conexión eléctrica y reflexión de parte de la radiación solar: 3%

Energía de los fotones demasiado baja como para romper el enlace del silicio y generar un par electrón-hueco: 22%

Energía de los fotones demasiado elevada para romper el enlace del silicio: 30%

Pérdidas de energía debido a recombinación de electrones y huecos: 8.5%

Pérdidas de tensión en la célula: 20%

Pérdidas en las resistencias: 0.5%

Todo ello limita el rendimiento global de la célula fotoeléctrica a aproximadamente el 16%. (Mendez, 2007).

## Desarrollo

El procedimiento seguido para determinar cuál de los paneles; panel con células monocristalinas o panel con célula policristalina, es más eficiente tomando en cuenta su ángulo de inclinación,  $0^\circ$  y  $20^\circ$  fue el siguiente: en marzo de 2018 se instalaron 4 paneles solares en dos estructuras, la primera inclinada a  $0^\circ$  con un panel monocristalino y un panel policristalino, la segunda estructura, con paneles similares pero a una inclinación de  $20^\circ$ , cada estructura se incluyó un micro inversor con su datalogger o Unidad de Comunicación de energía (ECU) para el registro de los datos de generación: voltaje de corriente directa, alterna, frecuencia, corriente de corriente directa, alterna, potencia de los paneles, la energía eléctrica generada se interpretó por medio de las lecturas y periodo. Esto en la Universidad Tecnológica de Bahía de Banderas (UTBB), en el edificio de Ingenierías.

Con la información generada por todos esos equipos, se creó una tabla con toda la información registrada de energía, cabe señalar que debido a que no se estaba midiendo la eficiencia de los paneles solares en sí, no se tomaron registros de insolaciones ni cuestiones ambientales y suponiendo que es una instalación común (sin mantenimiento), en todo ese periodo no se realizaron actividades de limpieza de paneles ni revisiones al resto de los componentes.

El registro de información se inició el 01 de abril de 2017 concluyendo el día 31 de marzo de 2018, durante ese periodo en la UTBB se presentaron fallas de internet en periodos largos y cortos por causas de terceros. Sin embargo, de todo el periodo de registro se tiene el 81.6%, es decir se tiene información de 298 días registrados, de los 65 días faltantes se tienen de manera dispersos en el periodo.

Las especificaciones del panel se muestran en la tabla 1, tabla 2 y tabla 3. En la tabla 4 se presentan las especificaciones del micro inversor, de igual forma en la figura 4 se muestran los paneles instalados a  $0^\circ$  y en la figura 5 se muestran los paneles instalados a  $20^\circ$ .

Tipo de celda	Policristalina/Monocristalina
Dimensión de la celda	156mm X 156mm
Número de celdas	60 (6 X 10)
Peso	18.5 Kg
Dimensiones del modulo	1640mmX992mmX40mm
Cable	900mm fotovoltaico
Caja de conexión	IP65/IP67
Número de diodos de derivación	3 / 6
Conectores	MC4 Compatible
Hoja trasera	Blanca
Marco	Aluminio anodizado (15 $\mu$ m)
Clasificación de flama	Clase C
Aplicación de acuerdo a IEC	Clase A

**Tabla 1** Datos físicos del panel Policristalino y monocristalino

Fuente: Solartec

La tabla 1 servirá para los dos tipos de paneles, de acuerdo al fabricante presentan las mismas características, solamente diferenciando entre el silicio monocristalino y policristalino.

Condición de medición	Estándar Test Condition (STC)	Test Operation (NOCT)	Condition Normal
Voltaje de circuito abierto (Voc)	37.30	37.23	
Voltaje en el punto de máxima potencia (Vmpp)	30.50	30.40	
Corriente de corto circuito (Isc)	8.74	7.03	
Corriente en el punto de máxima potencia (Impp9)	8.21	6.92	
Potencia máxima (Pmax)	250 W	210W	
Eficiencia del modulo	15.39%	15.39%	

**Tabla 2** Panel solar S60MC-250 (Monocristalino)

Fuente: Solartec

Condición de medición	Estándar Test Condition (STC)	Test Operation (NOCT)	Condition Normal
Voltaje de circuito abierto (Voc)	36.30	36.24	
Voltaje en el punto de máxima potencia (Vmpp)	30.60	30.54	
Corriente de corto circuito (Isc)	8.71	6.98	
Corriente en el punto de máxima potencia (Impp9)	8.17	6.55	
Potencia máxima (Pmax)	250 W	200 W	
Eficiencia del modulo	15.39%	15.39%	

**Tabla 1** Panel solar S60PC-250 (Policristalino)

Fuente: Solartec

Rango de voltaje MPPT (Vdc)	22-45
Rango de operación de voltaje (Vdc)	16-52
Voltaje máximo de entrada (Vdc)	55
Voltaje de inicio (Vdc)	22
Corriente máxima de entrada (Adc)	12X2
Máxima potencia de salida (W)	500
Voltaje nominal de salida (Vac)	240
Corriente nominal de salida (Aac)	2.8
Rango de voltaje de salida por defecto (Vdc)	211-264
Frecuencia nominal de salida (Hz)	60
Eficiencia	95.5%
Eficiencia nominal MPPT	99.5%
Consumo de energía nocturno (mW)	120

**Tabla 4** Micro inversor APS YC500A

Fuente: *Elaboración Propia*



**Figura 4** Paneles monocristalino y policristalinos montados a cero grados.

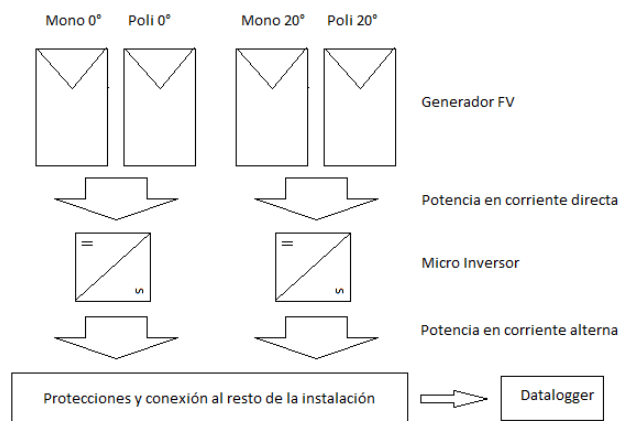
Fuente: *Elaboración Propia*



**Figura 5** Paneles solares monocristalino y policristalino montados a veinte grados.

Fuente: *Elaboración Propia*

Los paneles fueron instalados en la azotea del laboratorio de ingenierías teniendo dos paneles por micro inversor, uno que mediría paneles a 0° y el segundo que mediría los paneles a 20°, como se muestra en la figura 6.



**Figura 6** Esquema de conexión del sistema

Fuente: *Elaboración Propia*

El análisis de los datos fue basado en mediciones directas por el ECU (ver figura 7), a través del software APSsystems EMA, la Unidad de Comunicación de Energía (ECU) envía información en tiempo real por medio de una comunicación PLC o ZigBee (APSystems,2018).



**Figura 7** ECU de APSystems

Fuente: *APSystems, 2018*

Para la comparativa de los resultados se basaran en la media aritmética:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (1)$$

Donde:

$\bar{X}$  es la media aritmética

N es el número de muestras

$X_i$  son los valores de muestra

Como se mencionó, no se cuenta con la misma cantidad de datos en los meses, es por ello que se realizará el promedio de los promedios mensuales, utilizando la misma fórmula 1. (Ángel, 2012).

## Resultados

En la tabla 5 se muestran el número de días por mes que presentan lecturas completas de inicio a fin, mismas que servirán para determinar los promedios mensuales y anuales.

Mes	No. De Lecturas
Enero	22
Febrero	0
Marzo	17
Abril	30
Mayo	31
Junio	30
Julio	31
Agosto	31
Septiembre	30
Octubre	31
Noviembre	30
Diciembre	15
Promedio anual	24.83

**Tabla 5** Resumen de los días con lecturas por mes

Fuente: *Elaboración Propia*

En la tabla 6 se muestran las potencias máximas registradas por mes por los paneles policristalinos y monocristalinos montados a cero grados, en este análisis no es posible determinar promedios diarios debido a que en todo el día se tiene por la mañana una potencia mínimo de cero, medio día la máxima y en la tarde de nuevo potencia cero, sin embargo, se pueden sacar promedio en base a las potencias máximas, como se muestra en la última fila.

Mes	Mono 0° W	Poli 0° W
Enero	183	180
Febrero	0	0
Marzo	189	185
Abril	231	229
Mayo	222	221
Junio	251	250
Julio	242	241
Agosto	237	238
Septiembre	247	246
Octubre	197	197
Noviembre	185	181
Diciembre	169	170
Promedio anual	196	195

**Tabla 6** Comparativa en potencia máxima en watts por mes a cero grados

Fuente: *Elaboración Propia*

En la tabla 7 se muestran las potencias máximas registradas por mes por los paneles policristalinos y monocristalinos montados a veinte grados, en este análisis no es posible determinar promedios diarios debido a que en todo el día se tiene por la mañana una potencia mínima de cero, medio día la máxima y en la tarde de nuevo potencia cero.

Sin embargo, se pueden sacar promedio en base a las potencias máximas, como se muestra en la última fila.

Mes	Mono 20° W	Poli 20° W
Enero	219	216
Febrero	0	0
Marzo	212	210
Abril	236	235
Mayo	225	221
Junio	245	243
Julio	233	231
Agosto	243	240
Septiembre	259	259
Octubre	213	212
Noviembre	218	217
Diciembre	235	238
Promedio anual	212	210

**Tabla 7** Comparativa en potencia máxima en watts por mes a veinte grados

En la tabla 8 se muestran la energía eléctrica generada y registrada por mes por los paneles policristalinos y monocristalinos montados a cero grados, en este análisis basta con sumar la energía total en todo el día, para que, el acumulado represente la suma mensual y llegar a la anual, pudiendo tener también el dato de promedio mensual.

Mes	Mono 0° KW-h	Poli 0° KW-h
Enero	0.86	0.83
Febrero	0.0	0.0
Marzo	1.27	1.23
Abril	1.46	1.37
Mayo	1.37	1.33
Junio	1.08	1.11
Julio	1.29	1.26
Agosto	1.10	1.08
Septiembre	1.04	1.01
Octubre	1.09	1.06
Noviembre	0.97	0.94
Diciembre	0.68	0.70
Promedio anual	1.11	1.09
Total anual	337	329

**Tabla 8** Comparativa de generación de energía eléctrica en KW-h por mes a cero grados

En la tabla 9 se muestran la energía eléctrica generada y registrada por mes por los paneles policristalinos y monocristalinos montados a veinte grados, en este análisis basta con sumar la energía total en todo el día, para que, el acumulado represente la suma mensual y llegar a la anual, pudiendo tener también el dato de promedio mensual.

Mes	Mono 20° KW-h	Poli 20° KW-h
Enero	1.10	1.09
Febrero	0.0	0.00
Marzo	1.45	1.43
Abril	1.47	1.46
Mayo	1.31	1.29
Junio	1.18	1.17
Julio	1.20	1.20
Agosto	1.08	1.08
Septiembre	1.08	1.08
Octubre	1.25	1.25
Noviembre	1.24	1.24
Diciembre	0.98	0.98
Promedio anual	1.21	1.21
Total anual	362	360

**Tabla 9** Comparativa de generación de energía eléctrica en KW-h por mes a veinte grados

Fuente: *Elaboración Propia*

### Agradecimiento

En conjunto los autores extienden su más sincero agradecimiento a la Universidad Tecnológica de Bahía de Banderas por todas las facilidades otorgadas para poder desarrollar esta investigación y todas las futuras, de igual forma al cuerpo académico de Innovación y Aplicación Tecnológica por sus aportaciones.

### Conclusiones

Como se puede observar en cada tabla siempre el panel monocristalino tuvo mejores resultados, tanto en promedios de potencia máxima como generación de energía eléctrica, como era de esperarse. También es notorio que de acuerdo a la literatura que dependiendo a la época del año los sistemas generan más o menos por consecuencia de las horas sol pico.

En las tablas 7 y 6 muestran los datos de potencia máxima, de las cuales se observa; el panel monocristalino alcanza su potencia máxima de 259W en el mes de septiembre a 20 grados y 251W en el mes de junio a cero grados mientras que el panel policristalino alcanza su máxima potencia de 259W en el mes de septiembre y 250W en el mes de junio. Prácticamente en cuanto a potencia máxima, ambas tecnologías la alcanzan.

En las tablas 8 y 9 se muestran de generación de energía eléctrica KW-h, de las cuales se observa; el panel monocristalino alcanza una generación promedio mensual de 1.21KW-h a 20 grados y 1.11KW-h a 0 grados con una generación anual de 361.6KW-h a 20 grados y 337 a 0 grados mientras que el panel policristalino alcanza una generación promedio mensual de 1.21KW-h a 20 grados y 1.09KW-h a 0 grados con una generación anual de 360.1KW-h a 20 grados y 328KW-h a 0 grados. En cuanto a generación de energía eléctrica se observa que el panel monocristalino a 20 grados presenta mayor generación de energía eléctrica con 361.60 KW-h, segundo del policristalino con 360 KW-h.

En resumen quedan de la siguiente forma la generación anual:

Monocristalino 0° con 337 KW-h  
 Monocristalino 20° con 361.6 KW-h  
 Policristalino 0° con 328.81 KW-h  
 Policristalino 20° con 360 KW-h

### Referencias

- Ángel, J. (2012). La correcta utilización de los promedios. *Revista Universidad EAFIT*, 77-86.
- Collado, F., Castro, G., Colmenar, S., & Calero, R. &. (2013). *Centrales de energías renovables*. Madrid: Person.
- Mendez, J. &. (2007). *Energía Solar Fotovoltaica*. España: Fundación Confemetal.
- Moro, M. (2010). *Instalaciones Solares Fotovoltaicas*. España: Parainfo.
- Perez, M. (s.f.). [www.conermx.com.mx](http://www.conermx.com.mx).  
 Obtenido de <http://www.conermex.com.mx/blog-desmitificando.html>