

Plataforma de seguimiento para cocinas y hornos solares

Eduardo Soto Sepúlveda
edusotos@gmail.com

Resumen—Se construyó un sistema de seguimiento solar y una plataforma móvil para ser utilizada como un dispositivo que permita controlar la temperatura en el interior de una cocina solar de concentrador parabólico y hornos solares. La aplicación fue desarrollada con un microcontrolador ATmega168 que controla un motor que mueve una plataforma donde se ubica la cocina y el concentrador bajo una estrategia de control basada en la temperatura interna y el calor suficiente para cocinar los alimentos.

Index Terms — Microcontrolador, C++, Seguimiento solar, cocinas solares

I. INTRODUCCIÓN

Este proyecto nace con la visión de incorporar a la cocina solar como un elemento en la vivienda solar pasiva. Son varias las barreras que impiden la incorporación de este tipo de cocinas en la vivienda moderna ya que comparativamente las cocinas eléctricas, gas u otro tipo de fuente energética utilizada normalmente poseen la potencia suficiente para que la cocción de los alimentos sea rápida, el suministro de energía o combustible es muy confiable y el control de la temperatura es fácil para cualquier tipo de usuario.

Sin embargo, las cocinas solares acercan a las personas al uso racional de los recursos energéticos ya que la energía solar es un recurso palpable y cotidiano. Como ejemplo comparativo podríamos comparar el uso de la bicicleta y el automóvil. Cada vez que vamos en bicicleta a nuestros trabajos, lugares de estudios o bien a hacer una simple compra, nos desplazamos por lugares desde inicio a fin cuantificando el coste energético con lo que hemos gastado y sentido durante el trayecto. Esta sensación no es la misma cuando la hacemos en un automóvil, ya que la sensación es distinta y no es posible ni siquiera compararla con el coste y el tiempo que implica esta acción. Bajo este concepto, la sensibilización de la población con el uso de la energía debe permitir tal interacción con los procesos cotidianos que permita la “humanización de la energía”. Las cocinas solares están ahí para ello.

Sin embargo, hay que mejorar varios aspectos de lo que es cocinar con el Sol, ya que se convierten en barreras para la introducción de estas tecnologías y terminan con quebrar el entusiasmo incluso de los más cercanos a esta filosofía. Para ello este proyecto pretende ser un aporte para la incorporación como un leve elemento activo en la construcción pasiva de

viviendas y facilitar el proceso de adaptación de las personas a esta nueva forma de hacer las cosas, cocinar con el Sol.

II. OPERACIÓN DEL SISTEMA

El seguimiento solar se realiza en forma automática a través de un motor de corriente continua acoplado mecánicamente a una plataforma rotatoria donde se ubica la cocina solar. El sistema de control mide la temperatura a través de una sonda de temperatura con la que el sistema se retroalimenta para no sobrepasar la temperatura máxima preestablecida por el usuario. También es posible operar solamente con seguimiento solar independiente de la temperatura dentro del recipiente de los alimentos. A continuación se explica con mayor detalle los dos modos de operación.

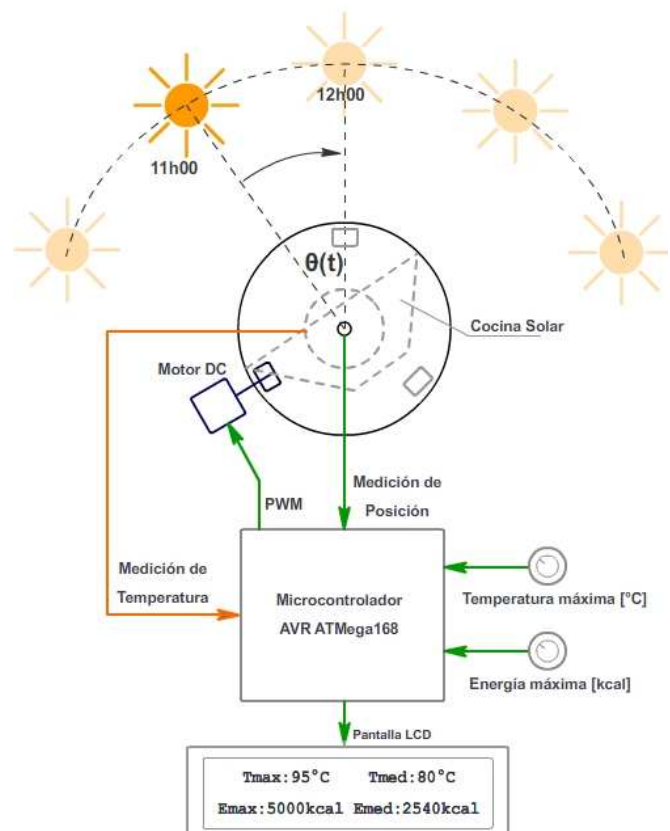


Fig.1 Sistema de seguimiento solar con control de temperatura y energía.

Con seguimiento de la temperatura máxima

Mediante un selector se puede fijar la temperatura máxima a la cual se desea operar para poder controlar la temperatura de cocción de los alimentos. Este modo de operación se utiliza principalmente con concentradores parabólicos debido a la variabilidad de la potencia y gran concentración solar en el foco, lo cual hace que la temperatura varíe rápidamente y puede quemar los alimentos o bien hacer que pierda parte de sus propiedades durante el proceso de cocción.

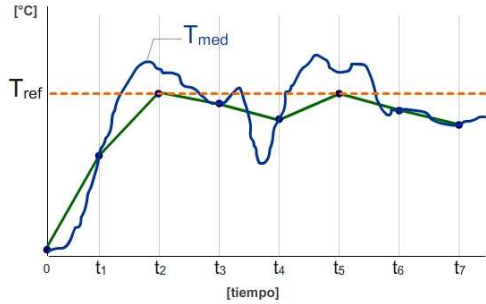


Fig.2 Control de la plataforma con seguimiento de la temperatura de referencia

En la Fig.2 se representa la temperatura en función del tiempo y se muestra el seguimiento que realiza el control. Una vez que la temperatura de medición (T_{med}) sobrepasa la temperatura de referencia (T_{ref}) el control desvía unos cuantos grados el foco mediante la actuación del motor que rota la plataforma. Con esto se consigue una disminución de la temperatura. El seguimiento solar se realiza mediante un algoritmo que estima la posición del Sol a través del tiempo.

Es necesario tener una histéresis en este proceso de medición y desvío del foco debido a la alta inercia térmica asociada. De no existir este retardo, el sistema estaría desviando constantemente la plataforma debido a que la medición de la temperatura no daría tiempo de ceder el calor ganado por los alimentos.

Sin seguimiento de temperatura

Para aplicaciones de menor temperatura, como es el caso de hornos solares, es necesario un seguimiento continuo del Sol sin necesidad de fijar una temperatura máxima. Este modo utiliza el algoritmo del tiempo y estimación de la posición del Sol para el seguimiento. En la Fig.3 se representa a la temperatura en función del tiempo y el seguimiento continuo del Sol alcanzando cualquier nivel de temperatura para la cocción.

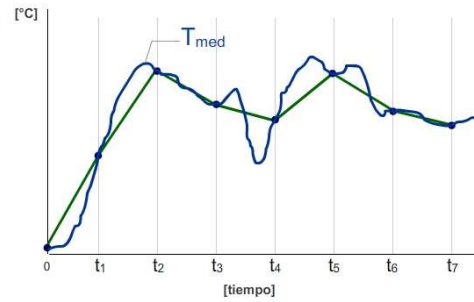


Fig.3 Temperatura en los alimentos con el seguimiento continuo del Sol

Energía máxima

Una de las opciones más importantes en este desarrollo, consiste en estimar la energía captada por los alimentos. Con esto es posible establecer un valor máximo de energía que no dependerá de los estados parciales de energía si no de la suma total de ellos. Una vez alcanzado el nivel máximo de energía fijado por el usuario (mediante información heurística o conocimiento previo que puede estar tabulado), la plataforma girará hasta ponerse en la sombra y esperar que se retiren los alimentos.

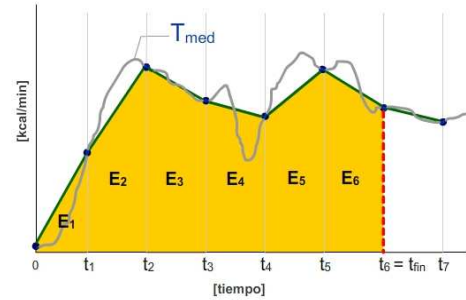


Fig.4 Integración de los estados parciales de energía hasta llegar al valor máximo de energía fijado por el usuario

En la Fig.4 se representa los valores de energía estimados mediante la temperatura medida en los alimentos.

La energía puede ser estimada mediante la siguiente ecuación para $T_1 < T_2$ donde T_1 es la temperatura medida en primer instante y T_2 la temperatura medida posteriormente.

$$(1) \quad E_i = \left[\left(\frac{T_2 - T_1}{2} \right) + T_1 \right] * k * \Delta t$$

Para $T_1 > T_2$

$$(2) \quad E_i = \left[\left(\frac{T_1 - T_2}{2} \right) + T_2 \right] * k * \Delta t$$

Donde k es un factor que relaciona el volumen y densidad del contenido del recipiente, el calor específico del contenido y el tiempo en que se realiza el cálculo. Este el valor de energía es expresado en [kcal]. El valor de esta constante se determinará experimentalmente.

Finalmente la energía máxima será la suma de todas las energías parciales calculadas durante el tiempo que dure la cocción de los alimentos.

Trayectoria solar

Para implementar el algoritmo que permita estimar la posición del Sol en función de la hora, es necesario describir la trayectoria solar mediante ecuaciones que tengan un buen grado de precisión. La exactitud del sistema de seguimiento estará determinada principalmente según la estrategia de cálculo implementada en el microcontrolador y la medición de posición que retroalimenta el control (normalmente un encoder o un sensor resistivo para medir el ángulo en que se encuentre la plataforma de seguimiento).

La trayectoria solar depende principalmente de la latitud del lugar y la fecha. Estos dos factores se explican mediante al movimiento de traslación de la Tierra alrededor del Sol y del ángulo de declinación en que se encuentre esta. En la Fig.5 se muestra el desplazamiento de la trayectoria solar para distintas épocas del año. En el solsticio de verano, el Sol estará en su máximo a medio día con una gran altura solar, mientras que en el invierno la altura solar será significativamente menor dependiendo de la latitud.

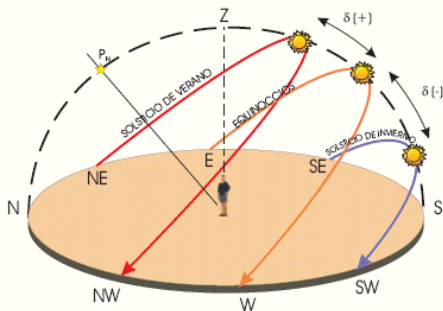


Fig.5 Trayectoria solar en distintos momentos del año

Existen ecuaciones que definen esta trayectoria con gran precisión y exactitud.

Ángulo según el día [rad]

$$(3) \quad \gamma = \frac{2\pi(d-1)}{365}$$

Ángulo de declinación [rad]

$$(4) \quad \delta = 0,006918 - 0,399912 \cdot \cos(\gamma) + 0,070257 \cdot \sin(\gamma) - 0,002697 \cdot \cos(2\gamma) + 0,000907 \cdot \sin(2\gamma) - 0,002697 \cdot \cos(3\gamma) + 0,00148 \cdot \sin(3\gamma)$$

Ángulo horario [rad]

$$(5) \quad w = (15 \cdot (hora - 12) + \frac{minutos}{4} + \frac{segundos}{240}) \cdot \pi/180$$

Altura solar h

$$(6) \quad h = \sin^{-1}(\sin(L) \cdot \sin(\delta) + \cos(L) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(w))$$

Azimet

$$(7) \quad Az = \cos^{-1} \left[\frac{\cos(\delta) \cdot \cos(w) - \sin(h) \cdot \cos(L)}{\cos(h) \cdot \sin(L)} \right]$$

Donde L es la latitud del lugar

Una forma de representación gráfica de la trayectoria solar son los diagramas solares. En la Fig.6 se tiene el diagrama estereográfico para la ciudad de Zaragoza. En este diagrama se puede obtener la altura y azimet conociendo la fecha y la hora solar.

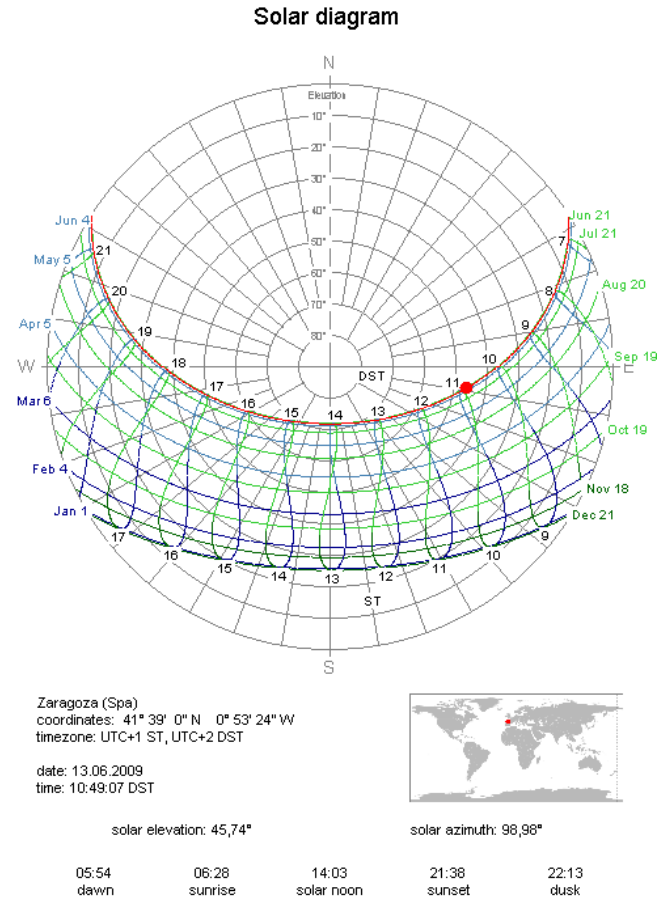


Fig.6 Diagrama solar estereográfico para la ciudad de Zaragoza, latitud 41° 39' Norte, longitud 0° 53' 24" Oeste. Solar Beam Software.

En este proyecto, es necesario encontrar una relación simplificada de la azimet en función de la hora solar ya que el sistema posee sólo un grado de libertad (movimiento de Este a Oeste). En la Fig.7 se muestran una serie de curvas que describen la relación entre la azimet y el ángulo solar para distintos meses del año. Se observa la simetría respecto al Sur (azimet 0°).

Se considerarán los meses de mayor radiación para hacer las estimaciones y aproximaciones a una función que permita relacionar tanto el tiempo con la posición de la plataforma. Esto es consecuente con la finalidad del proyecto y su aplicación en cocinas y hornos solares las cuales son útiles en los periodos de mayor radiación.

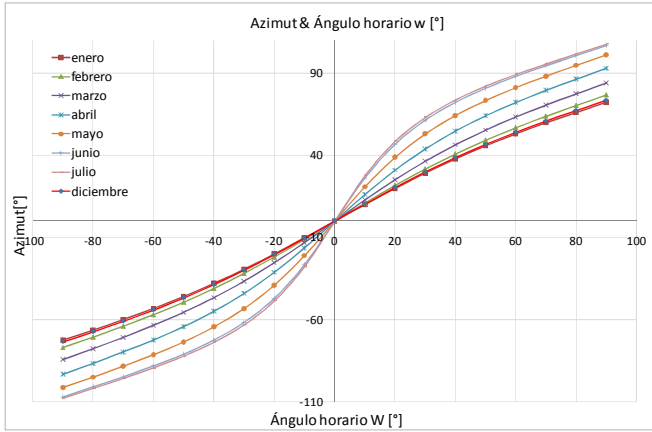


Fig.7 Azimut en función de la hora solar para distintos meses del año en la ciudad de Zaragoza.

Es posible implementar en el código del microcontrolador un polinomio que permita estimar la posición del Sol sin tener que recurrir a las ecuaciones (3) a (7). El polinomio y sus coeficientes se describen a continuación para la latitud 41° 39' Norte.

La función del Azimut se define como

$$(8) Az = a_1 \cdot w^3 + a_2 \cdot w^2 + a_3 \cdot w + a_4$$

Donde a_x son los factores del polinomio de tercer orden. Para cada día del año, los parámetros dependen del día como se observa en la Fig.8. Cada parámetro a_x es calculado mediante otros polinomios que son obtenidos mediante regresiones polinomiales que relacionan este parámetro con el día del año.

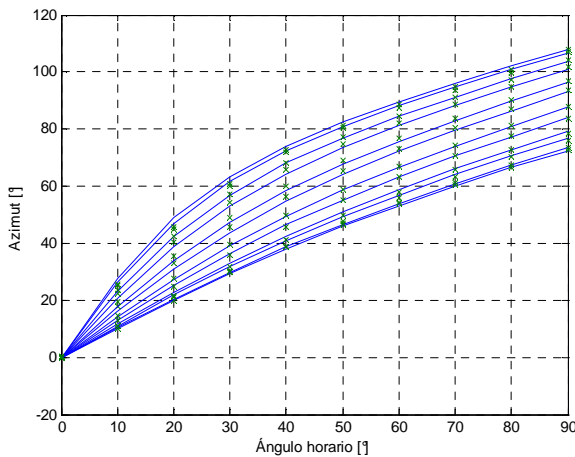


Fig.8 Aproximación polinomial para un ángulo horario de 0 a 90°

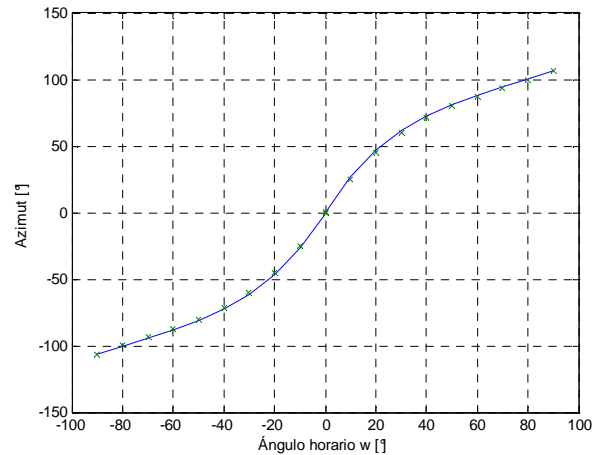


Fig.9 Ejemplo de aproximación polinomial para el 1° de junio mediante el polinomio de aproximación (día 152, latitud 41° 39' Norte)

Las ecuaciones que describen los factores del polinomio de la azimut se describen a continuación. Estos parámetros deben ser calculados para cada ubicación geográfica, en este caso se calcula para la ciudad de Zaragoza.

(9)

$$\begin{aligned} a_1 &= k_{1,1} \cdot d^3 + k_{1,2} \cdot d^2 - k_{1,3} \cdot d + k_{1,4} \\ a_2 &= k_{2,1} \cdot d^3 + k_{2,2} \cdot d^2 - k_{2,3} \cdot d + k_{2,4} \\ a_3 &= k_{3,1} \cdot d^3 + k_{3,2} \cdot d^2 - k_{3,3} \cdot d + k_{3,4} \\ a_4 &= k_{4,1} \cdot d^3 + k_{4,2} \cdot d^2 - k_{4,3} \cdot d + k_{4,4} \end{aligned}$$

$$k_{i,k} = \begin{bmatrix} -5,132 \cdot 10^{-12} & -2,7195 \cdot 10^{-9} & 1,4799 \cdot 10^{-6} & -0,00002609 \\ 9,544 \cdot 10^{-10} & 5,4348 \cdot 10^{-7} & -0,00028831 & 0,0021371 \\ -5,319 \cdot 10^{-8} & -3,6322 \cdot 10^{-5} & 0,018159 & 0,77953 \\ -1,759 \cdot 10^{-8} & -3,1294 \cdot 10^{-6} & 0,0029256 & -0,24165 \end{bmatrix}$$

donde d es el día del año.

III. HARDWARE

Arduino Duemilanove



Fig.10 Placa de desarrollo Arduino Duemilanove

Arduino puede ser utilizado para desarrollar objetos autónomos e interactivos, como prototipos o interactuar con software instalado en el ordenador. Dada su rápida curva de aprendizaje y su precio económico es ideal para educadores, diseñadores y cualquiera interesado en la electrónica y

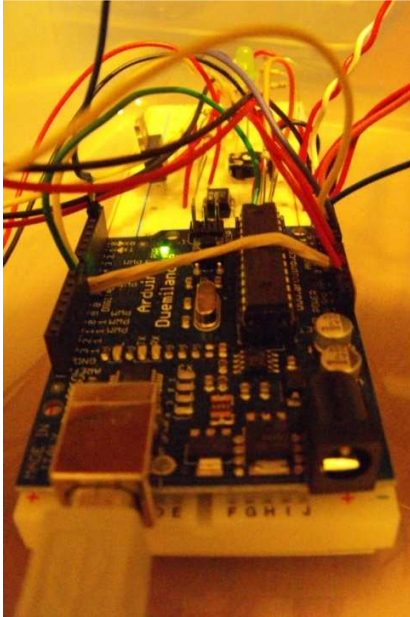


Fig.15 Placa Arduino y montaje en fase de desarrollo

IV. COCINAS SOLARES

La experiencia ha demostrado que fabricando una caja convenientemente aislada por el fondo y los lados, con una cubierta superior transparente orientada al Sol, de tal forma que capte la radiación solar, e introduciendo en ella una chapa metálica pintada de negro, la temperatura de la misma puede subir hasta los 100 °C o más [3].

Si la cubierta transparente es un buen aislante térmico, por ejemplo, si está compuesta por dos láminas de vidrio separadas entre sí unos 10 a 20mm, y esta misma chapa tiene un recubrimiento adecuado se puede alcanzar una temperatura de 140 a 160 °C .

En el sistema descrito se ha hecho uso del llamado efecto invernadero para mantener y aumentar la temperatura del objeto metálico gracias al aislamiento térmico, a la ausencia de corrientes de aire y a la existencia de un vidrio como cubierta que deja entrar la radiación.

También se puede lograr el calentamiento con ayuda de concentradores, o sea, superficies reflectoras cuya forma geométrica ayuda a que la radiación incidente sobre una superficie grande se concentre en un área varias veces menor. Son muchas las variantes de cocinas solares que se han probado en el mundo; entre las principales están:

Cocinas con concentración óptica.

- de foco lineal.
- de foco puntual.

Cocinas sin concentración óptica.

- fijas.
- orientables.

La cocina con concentración de foco lineal está formada por un espejo de forma cilíndrico-parabólica que concentra la radiación solar en un tubo por donde pasa un fluido, generalmente aceite, el cual es calentado a una temperatura de 150 °C a 250 °C. Este fluido se hace pasar por la cocina o lugar donde están las ollas y su calor se utiliza para la cocción. Ya sea automático o manual necesita un sistema de seguimiento solar.

La cocina con concentración de foco puntual está formada por un espejo paraboloide que concentra los rayos solares en un punto donde va situada la olla, que capta directamente dichos rayos solares. También en este caso es necesario un sistema de seguimiento al Sol, todavía más complejo que en las anteriores, ya sea manual o automático, y de forma continua o casi continua.

Las cocinas con espejos concentradores de foco lineal o puntual, utilizan solamente la radiación directa, o sea, los rayos que vienen directamente del Sol sin desviarse, pero no aprovechan la radiación difusa.

Las cocinas sin concentración son muy sencillas, están formadas simplemente por un cajón convenientemente aislado por el fondo y los lados para que no pierda el calor y con una cubierta transparente. Dentro de este cajón van situadas las ollas para la cocción.

Cuando estas cocinas son grandes, con un área de captación mayor de 1 m², son generalmente fijas y se orientan hacia el sur, de tal manera que capten el máximo de energía solar a lo largo del día. Si sólo se quiere cocinar al mediodía, se orienta hacia el sudeste. Las cocinas pequeñas de este tipo, son generalmente orientables, o sea, se pueden mover dirigiéndolas hacia el lugar donde capten más energía solar. En la mayoría de los casos, las cocinas orientables suelen tener un espejo plano que, colocado convenientemente, aumenta la radiación que recibe la olla.

La cocina solar de cajón es muy eficiente, primero, porque aprovecha tanto la radiación directa como la difusa y segundo y más importante, porque al estar totalmente aislada la olla, las pérdidas de calor son muy pocas.

Es bueno aclarar, que a pesar que este tipo de equipo utiliza la radiación total y no sólo la directa, no llega a elevar la temperatura lo necesario para la cocción si sólo hay radiación difusa, o sea, si el día está nublado.

Cocinas de acumulación y de concentración

Cada una de estos dos sistemas ofrece ventajas e inconvenientes respecto al otro. Así, si bien la cocina de acumulación (llamada también horno solar) no alcanza las temperaturas tan altas logradas en las de concentración, no obstante facilita una cocción más suave y por ello nunca presenta el peligro de que se quemen los alimentos. A su vez, no necesita tanto cuidado en mantener una correcta orientación en la dirección del Sol. En el cuadro 1 se presenta

un listado de valoración de las prestaciones dadas por estos dos sistemas

Valoración del uso de las cocinas solares de acumulación y de concentración [3]		
Características	Cocina de acumulación	Cocina de concentración
Necesidad de reorientación	Media	Alta
Facilidad de manejo	Sencilla	Regular
Estabilidad frente al viento	Buena	Baja
Temperaturas alcanzables	Regulares	Altas
Velocidad de cocción	Baja	Alta
Necesidad de vigilancia	Reducida	Elevada
Riesgo de incendio	Nulo	Posible
Precio	Bajo	Mas elevado
Mantenimiento	Muy reducido	Regular
Facilidad de acceso ollas	Reducido	Fácil
Auto construcción	Fácil	Más complicada
Limpieza de las ollas	Sencilla	Normal
Facilidad de almacenaje	Buena	Regular
Permite freír y/o asar	No	Si

En Fig.16 y 17 se muestran dos tipos de cocinas solares de concentración.



Fig.16 Cocina solar de concentrador parabólico [1]



Fig.17 Cocina solar con concentrador de cartón [2]



Fig.18 Cocción de alimentos con cocina solar con concentrador construido con cartón y papel reflectante [2]

V. PRUEBAS

Para verificar que el algoritmo de seguimiento solar programado en el microcontrolador, se realizaron distintas mediciones con la plataforma móvil a distintos horarios. En la Fig.19 se observa la regla para medir la azimuth real de la plataforma. También la pantalla fue de gran utilidad para conocer los cálculos que realizaba el microcontrolador.

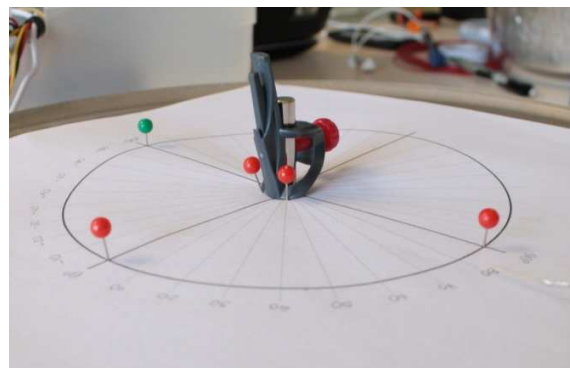


Fig.19 Verificación de la estimación de la azimuth según el algoritmo en la maqueta del seguidor solar

En la Fig.20 se muestra una comparación de las mediciones y el cálculo de la azimuth mediante las ecuaciones exactas.

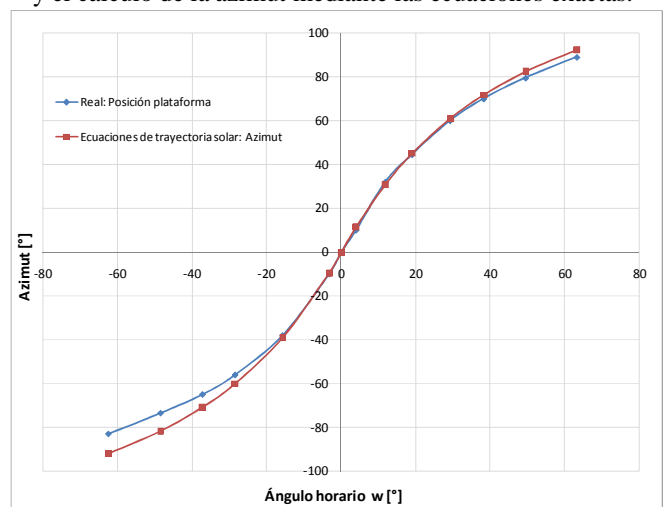


Fig.20 Comparación de la medición de posición de la plataforma móvil (medición para el 1º de junio en Zaragoza) y el cálculo del azimuth mediante las ecuaciones trigonométricas para seguimiento solar.

VI. COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

Luego de finalizar las primeras pruebas del algoritmo de seguimiento solar es posible concluir que la aproximación mediante polinomios es buena para la aplicación en cocinas y hornos solares.

El trabajo en este proyecto debe continuar en búsqueda de las constantes que permitan caracterizar la energía necesaria para la cocción de los alimentos y sus limitaciones de temperatura. Con esto será posible tabular los valores de energía y temperatura máxima que el usuario del sistema deberá utilizar cuando ponga en funcionamiento este sistema.

Un adecuado diseño del horno solar o cocina con concentrador que se incorpore a una vivienda solar pasiva, ya sea como un elemento permanente o bien un sistema desmontable que pueda fijarse en un lugar pensado para ello, haría de un día con buenas condiciones de irradiancia, un día perfecto para sentarse a la mesa y disfrutar de un delicioso menú solar!.

REFERENCIAS

- [1] GEE - Grupo de Energía y Edificación, Universidad de Zaragoza, Zaragoza, España, <http://gee.unizar.es>
- [2] Prof. Celestino Rodrigues Ruivo, Instituto Sup. Engenharia-Universidade do Algarve, Portugal
- [3] GARCIA, J. *La Cocina solar: El nuevo arte de cocinar de modo saludable y ecológico*

AGRADECIMIENTOS

Prof. José Antonio Turégano, Eva Roldán Saso, Martín Draper Vanrell, Rodrigo Vásquez Torres.

Eduardo Soto Sepúlveda, Autor (Graduate Member IEEE '09) Ingeniero Eléctrico, Licenciado en Ciencias de la Ingeniería Eléctrica de la Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso – Chile. Máster Europeo en Energías Renovables (Cand.'09), Universidad de Zaragoza, España.

PROGRAMA C++
PARA EL SEGUIMIENTO DE LA TRAYECTORIA SOLAR

```

float dia = 176;           // dia del año
float hora = 13;          //hora de inicio
float minutos = 7;       //minutos inicio
float segundos = 0;
float tt = 0.0;
int motorPin = 9;        // velocidad del motor
int ledPin = 8;          // led indicador
int tempPin = 1;         // medicion de temperatura
int posPin = 2;          // sensor de luz
int velPin = 3;          // ajuste PWM motor DC
int tmaxPin = 4;         // temperatura maxima
int emaxPin = 5;         // energía maxima
int cont=0;
float temp = 0;
float pos;
float pos_ant;
int vel = 0;
float tmax = 0;
float emax = 0;
int ii = 20;             // contador para actualizar
pantalla
int tempalm= 0;          // almacena el valor anterior
de la temperatura
int flag1 = 1;           //sistema activado 1,
desactivado 0
int flag2 = 1;           // histéresis del modo 1 con
seguimiento de temperatura
float ke = 0.001;        // factor de escala para
conversion a energia
float Ei = 0;            // Energia parcial [kcal]
float Ealm = 0;          // Energia total [kcal]
double ww;               // Angulo solar [rad]
double aal;
double aa2;
double aa3;
double aa4;
double az;               // Azimut

void setup()
{
  pinMode(motorPin, OUTPUT); // sets the pin as
  output
  pinMode(ledPin, OUTPUT); // sets the pin as
  output
  Serial.begin(9600);
  backlightOn();
}

void loop()
{
  temp = 0.109 * analogRead(tempPin); // read the
  input pin
  pos = 0.265095 * (analogRead(posPin)-160); //
  posición de la plataforma 160:0° y 839:180° :::
  180/(839-160)=
  vel = analogRead(velPin); // read the input pin
  0 a 1023
  tmax = 0.109 * analogRead(tmaxPin); // lectura
  del conversor para fijar la temperatura maxima
  emax = 100 * ke * analogRead(emaxPin); // lectura
  del conversor para fijar la energia maxima
  ww = (15 * (hora-12)) + (minutos/4); //angulo
  horario

  aal = -0.0000000000051316 * dia * dia * dia -
  0.0000000027195 * dia * dia + 0.0000014799 * dia -
  0.00002609;

  aa2 = 0.0000000009544 * dia * dia * dia +
  0.00000054348 * dia * dia - 0.00028831 * dia +
  0.0021371;
  aa3 = -0.00000005319 * dia * dia * dia -
  0.000036312 * dia * dia + 0.018159 * dia + 0.7795;
  aa4 = -0.00000001759 * dia * dia * dia -
  0.00000312940 * dia * dia + 0.0029256 * dia -
  0.24165;

  if(ww < 0){
    az = -(aal * abs(ww) * abs(ww) * abs(ww) + aa2 *
    abs(ww) * abs(ww) + aa3 * abs(ww) + aa4) + 90;
  }else{
    az = aal * abs(ww) * abs(ww) * abs(ww) + aa2 *
    abs(ww) * abs(ww) + aa3 * abs(ww) + aa4 + 90;
  }
  //escribe en LCD los textos

  delay(100);

  if(ii == 20){
    selectLineOne();
    clearLCD();
    Serial.print("Tm:");
    Serial.print(tmax);
    Serial.print(" T:");
    Serial.print(temp);
    selectLineTwo();
    Serial.print("Hora:");
    Serial.print(round(hora));
    Serial.print(":");
    Serial.print(round(minutos));
  }

  if(ii == 40){
    selectLineOne();
    clearLCD();
    Serial.print("P");
    Serial.print(round(pos));
    Serial.print(" Az");
    Serial.print(az);
    selectLineTwo();
    Serial.print("a/d:");
    Serial.print(analogRead(posPin));
    Serial.print("ww");
    Serial.print(ww);
    ii=0;
  }

  ii = ii + 1;

  if (az > pos) {
    motorOn();
    delay(10);
    motorOff();
  }

  //TIEMPO
  tt = tt + 0.000359;
  segundos = segundos + tt;
  if(segundos >= 60){
    minutos = minutos + 1;
    segundos = 0;
    tt = 0;
  }
  if(minutos >= 60){
    hora = hora + 1;
    minutos = 0;
  }
}

} // fin del loop

void motorOn(){
  analogWrite(motorPin, vel / 4); // analogRead
  values go from 0 to 1023, analogWrite values from 0
  to 255

```

```

}

void motorOff(){
analogWrite(motorPin, 0); // analogRead values go
from 0 to 1023, analogWrite values from 0 to 255
}

void selectLineOne(){ //puts the cursor at line 0
char 0.
  Serial.print(0xFE, BYTE); //command flag
  Serial.print(128, BYTE); //position
}
void selectLineTwo(){ //puts the cursor at line 0
char 0.
  Serial.print(0xFE, BYTE); //command flag
  Serial.print(192, BYTE); //position
}
void goTo(int position) { //position = line 1: 0-15,
line 2: 16-31, 31+ defaults back to 0
if (position<16){ Serial.print(0xFE, BYTE);
//command flag
  Serial.print((position+128), BYTE);
//position
}else if (position<32){Serial.print(0xFE, BYTE);
//command flag
  Serial.print((position+48+128), BYTE);
//position
} else { goTo(0); }
}

void clearLCD(){
  Serial.print(0xFE, BYTE); //command flag
  Serial.print(0x01, BYTE); //clear command.
}
void backlightOn(){ //turns on the backlight
  Serial.print(0x7C, BYTE); //command flag for
backlight stuff
  Serial.print(157, BYTE); //light level.
}
void backlightOff(){ //turns off the backlight
  Serial.print(0x7C, BYTE); //command flag for
backlight stuff
  Serial.print(128, BYTE); //light level for
off.
}

void serCommand(){ //a general function to call
the command flag for issuing all other commands
  Serial.print(0xFE, BYTE);
}

```

PROGRAMA MATLAB

para encontrar los coeficientes de los polinomios de aproximación de la trayectoria solar

```
clc;
clear;
%Método de aproximación de la Azimut en función del
ángulo horario
latitud = 41.49*pi/180; %Latitud del lugar [rad]
dias = [1;32;60;91;121;152;182;213;244;274;305;335];
%Ángulo horario
ww1 = [0.001;10;20;30;40;50;60;70;80;90]; %ángulo
horario [rad]
ww2 = [0.001;-10;-20;-30;-40;-50;-60;-70;-80;-90];
%ángulo horario [rad]
```

```
%Ángulo de inclinación (Spencer)
for me=1:12,
ad = (2*pi*(dias(me)-1))/365; %conversion día a
radianes
ang_incl = 0.006918 - 0.399912 *
cos(ad)+0.070257*sin(ad)-0.002697*cos(2*ad) +
0.000907*sin(2*ad) -
0.002697*cos(3*ad)+0.00148*sin(3*ad);
```

```
for hi=1:10,
%Altura solar [rad]
h_solar = asin(sin(latitud) *
sin(ang_incl)+cos(latitud) * cos(ang_incl) *
cos(ww1(hi)*pi/180));
mes_h(hi,me)= 180/pi*h_solar; %guarda los valores de
la altura solar
%Azimut
azimut = acos((cos(ang_incl) * cos(ww1(hi)*pi/180) -
sin(h_solar)*cos(latitud))/(cos(h_solar) *
sin(latitud)));
mes_az(hi,me) = 180/pi*azimut; %guarda los valores
de azimut
mes_az2(hi,me) = - 180/pi*azimut;
end
```

```
end
```

```
%Coeficientes de la regresión polinomial de la
azimut (con ecuaciones
%exactas)
for mm =1:12,
c_mes = mes_az(:,mm);
[pol,ss1] = polyfit(ww1,c_mes,3);
coef(mm,:) = pol;
end
```

```
%polinomio para la aproximación de los coeficientes
for hh =1:4,
c_coef = coef(:,hh);
[pol_coef,ss2] = POLYFIT(dias,c_coef,4);
mx_coef(hh,:) = pol_coef;
end
```

```
%Ceficientes del polinomio de aproximación (4°
orden)
aa1 = mx_coef(1,:);
aa2 = mx_coef(2,:);
aa3 = mx_coef(3,:);
aa4 = mx_coef(4,:);
```

```
%Gráficas de los valores con ecuaciones exactas y
aproximaciones realizadas
%mediante polinomios
```

```
for ddi = 1:12,
subplot(2,1,1);
a1 = polyval(mx_coef(1,:),dias(ddi));
a2 = polyval(mx_coef(2,:),dias(ddi));
a3 = polyval(mx_coef(3,:),dias(ddi));
```

```
a4 = polyval(mx_coef(4,:),dias(ddi));
app_az(:,ddi) = polyval([a1,a2,a3,a4],ww1);
app_az2(:,ddi) = - polyval([a1,a2,a3,a4],ww1);
plot(ww1,mes_az(:,ddi),ww1,app_az(:,ddi),'x')
hold on;
```

```
end
hold off;
```

```
subplot(2,1,2);
%Ejemplo 1° de junio (dia=152)
plot(ww1,mes_az(:,6),ww1,app_az(:,6),'x')
hold on;
plot(ww2,mes_az2(:,6),ww2,app_az2(:,6),'x')
```