

# AUTOMATIZACIÓN DE MÁQUINA

## HIDRODESTILADORA PARA LA OBTENCIÓN DE

### ACEITE ESENCIAL DE EUCALIPTO DE CALIDAD

Campos Lansinot Wellington Josué.  
Camposjosue7@yahoo.com  
Universidad Técnica del Norte

*Resumen*— Se presenta un proyecto en el cual se automatiza una máquina hidrodestiladora de aceite, con fundamentos en procesos de control automatizado y termodinámica del sistema a ser tratado, con la finalidad de proporcionar seguridad al operador, contribuir con una extracción de aceite de alta calidad y un correcto manejo de los recursos a ser utilizados, son la prioridad del presente trabajo. El encendido de la llama de manera automática las que generan un arco eléctrico que al contacto con el gas produce una llama y su intensidad controlada por un servomotor acoplado a un mecanismo de engranes, que permite controlar el paso de gas. La señal de control es que proporcionada rinda dicha ejecución es dada por una termocupla tipo J, que lee la temperatura del vapor, para establecer los límites de temperatura y que por medio de la ecuación de Antoine brinda la presión y temperatura a la cual se debe trabajar se ara por medio de la ecuación de Antoine, la cual dicta la presión óptima a la que el aceite deberá de ser extraído, esta presión es siempre asociada a una temperatura, y esta es la que brindara los límites de trabajo, este proceso se monitorea y controla a través de la placa de control Arduino Uno, la que también permite la comunicación visual con el operador por medio de una LCD colocada en el panel de control. Además a parte de los elementos electrónicos se cuenta con un manómetro y una válvula mecánica de presión, para proporcionarle al ya que cuenta el sistema con dos modos de funcionamiento, el automático y el modo manual, brindando comodidad al momento de operar en la máquina hidrodestiladora.

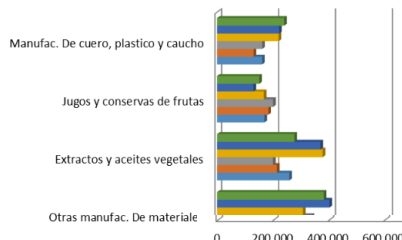
#### ABSTRAC

Presents a project which a hidrodestilador oil machine is automated, with fundamentals of

control processes and thermodynamics, with a final purpose to provide operator safety, contribute extraction of high quality oil and proper management of resources to be used. The ignition flame and its intensity is automatically controlled by a servo motor coupled to a gear mechanism, which controls the flow of gas. The control signal is provided by a J-type thermocouple, the Antoine equation gives the pressure and temperature at which it should work; this process is monitored and controlled through the control board Arduino Uno, which also allows visual communication with the operator via an LCD positioned on the control panel. In addition to the electronics it has a mechanical pressure gauge and a pressure valve system to provide two operating modes, automatic and manual, offering comfort when operating in the hidrodestiladora machine.

#### I INTRODUCCIÓN

El uso de los aceites esenciales ha venido acompañando al hombre desde la aparición de las civilizaciones. A través de la historia, romanos, chinos, griegos, egipcios han descubierto las propiedades de los aceites esenciales, por sus múltiples aplicaciones y usos, en el Ecuador se lo utiliza mas no se aprovecha el potencial de los aceites esencial, al ser rico en flora y fauna, su principal actividad es el petróleo, y en su totalidad, la industria petrolera abarca más del 50% del total exportado en el país [1], no



Con formato: Fuente: (Predeterminada) Times New Roman, 10 pto, Resaltar

Con formato: Fuente: (Predeterminada) Times New Roman, 10 pto, Cursiva

Con formato: Fuente: (Predeterminada) Times New Roman, 10 pto, Cursiva

Con formato: Fuente: (Predeterminada) Times New Roman, 10 pto, Cursiva

Universidad Técnica del Norte. Josué Campos

obstante, existe actividad de exportación de aceites esenciales pero no se brinda la debida atención.

Figura 1 Exportaciones de productos industrializados no tradicionales miles USD

Se aprecia en la figura 1 que si hay actividad referente a los aceites, sin embargo no es la manera de aprovechar los recursos brindados por la naturaleza.

Para la extracción de los aceites, se cuenta con la

Otras manufac. De materiales	Extractos y aceites vegetales	Jugos y conservas de frutas	Manufac. De cuero, plástico y caucho
375.154	271.670	148.564	235.862
395.375	363.529	128.001	218.112
301.870	371.391	164.435	216.423
332.753	196.893	197.231	159.116
276.406	210.728	180.575	128.331
338.008	254.163	166.732	158.596

maquinaria, pero esta no provee de seguridad, ni del debido control, en la figura 2 se aprecia un bosquejo de la maquina a ser tratada.

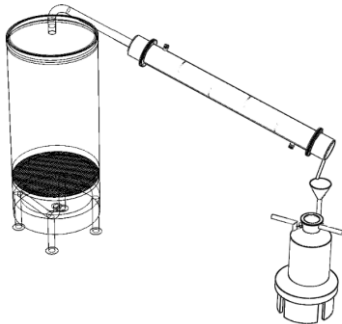


Figura 2 Máquina hidroddestiladora de aceite esencial

## II FUNDAMENTO TEÓRICO

Los aceites esenciales son “*Productos obtenidos a partir de una materia prima vegetal, bien por arrastre con vapor, bien por procedimientos mecánicos a partir del epicarpio de los Citrus, o bien por destilación seca. El aceite esencial se separa posteriormente de la fase acuosa por procedimientos físicos en los dos primeros modos de obtención; puede sufrir tratamientos físicos que no originen cambios significativos en su composición*” [2]

El método de hidroddestilación toma su nombre debido a, que su fuente principal es el vapor de agua, ubicado en la parte inferior de la máquina, con el fin de llevar una corriente de vapor hacia el material herbáceo, que está ubicado sobre una parrilla librándolo del contacto con el agua, el vapor liberando golpea al material vegetal y libera moléculas aromáticas, mezclándose con la corriente de vapor, estos pasan por un serpentín el cual permite condensar el vapor, de tal forma que cae en forma de líquido en un florentino, o también llamado separador de fases, y así poder recolectar la esencia, definiéndose así como un proceso que usa vapor saturado para conseguir aceite esencial.

Este proceso es delicado, ya que para cada planta, flor o material herbáceo que se desee procesar, es necesario contar con diferentes temperaturas de extracción, para ellos se vale de modelos químicos, termodinámicos y matemáticos, para conseguir dichas temperaturas, el estudio de este proyecto se centra en la extracción del aceite de eucalipto, por lo que todo el documento se hablara el estudio exclusivo para esta esencia.

La extracción de aceite es poca, ya que el material vegetativo a ser hidroddestilado no es el suficiente para tener cantidades considerables de extracto esencial (carga por lotes), por lo que el proceso es semi-continuo, pero el vapor tiene que ser continuo, para ello se tiene dos tiempos en los cuales se produce dichas operaciones. El primer tiempo es el no estacionario, este es aquel donde las condiciones físicas no están listas para la extracción de aceite, sin embargo el aceite puede comenzar a salir, la exudación es la velocidad con la cual el aceite sale del interior de los tricomas de la hoja, en este tiempo no se alcanza el equilibrio térmico, elemental para establecer la temperatura adecuada de extracción, en el tiempo estacionario, será en el que las condiciones se prestan para obtener un aceite de alta calidad.

## III CÁLCULOS

Cada esencia tiene sus propias características, lo que les convierten en sus huellas digitales, capaces así de distinguirse uno del otro, la tabla 1 indica lo que al aceite de eucalipto le hace diferente del resto.

Tabla 1 Características internas principales

Universidad Técnica del Norte. Josué Campos

<b>Olor</b> (Organolépticas)	Fuerte-característico
<b>Color</b> (Organolépticas)	Café amarillento claro
<b>Densidad</b> (g/ml)	0,921
<b>Rendimiento</b> (hojas)	0,8
<b>Índice de refracción</b>	a 20°C: 1.458 a 1.470

Con las características del eucalipto globulus, que es la especie con la que se trata, se necesita saber la cantidad de hojas de para poder extraer 250 ml de aceite esencial, para ello la tabla 1 [3] muestra el rendimiento, este se basa en 100 gramos, se utiliza la masa y la densidad para el despeje apropiado y así obtener la cantidad de hojas.

$$m = \delta * v$$

Ecuación 1 Masa



$$X_{gHierba} = 28,781 \text{ Kg}$$

Se corre el riesgo q si hay una presión excesiva se pueda estar destilando un aceite con ligero olor a quemado, y si se hace lo contrario se estaría desperdiciando energía y dejando parte del aceite en forma de agua floral en el fondo del hidrodestilador. Es por ello que para el conocimiento de esta presión se recurre a usar la ecuación de Antoine, la cual ayuda a encontrar la presión de una sustancia pura; para el caso específico del eucalipto, se lo denomina como Eucalyptol o Cineol.

Lo que establece Antoine en su modelo es utilizar constantes (para el caso de este escrito no se va a estudiar ni a profundizar en el tema) las cuales relacionan la presión saturada de vapor con respecto a la temperatura de la sustancia pura a tratar, dando la presión deseada en milímetros de mercurio. [4]

$$\log_{10} P = A - \frac{B}{C + T}$$

Ecuación 2 Antoine

Teniendo en cuenta que A, B y C son constantes dadas, T es la temperatura de ebullición de la sustancia dada en grados Celsius, o a su vez de la sustancia pura que hará evaporar, la tabla 2 muestra un resumen de los valores trabajados.

Tabla 2 Resumen Antoine para agua y eucalipto

Sustancia	A	B	C	T ebullición	Presión (Psi)
Agua (1)	8,07131	1730,63	233,426	100	14,6975783
Eucalyptol (2)	6,6948	1295,59	282,51		39,2742581

Teniendo una curva característica de:  
 $y = 0,0015x^3 - 0,1468x^2 + 6,1253x - 5,8176$

Esta curva permitirá introducir en el controlador, permitiendo ajustarse a la necesidad de la intensidad de la llama que uno programe, para ello se necesita consumir gas (GLP), un balance de energía y masa apropiada da como resultado el consumo energético que se realizara durante la destilación del aceite de eucalipto. [5]

$$M^I = M^F + M^V + M^R$$

Ecuación 3 Balance de masa

Tabla 3 Composición inicial del proceso

Sustancia Inicial	Nomenclatura	Cantidad
Masa	$M^I$	921
Fracion molar del eucalyptol	$m^I_s$	0,14398374
Fracion molar del agua	$m^I_{H_2O}$	0,85601626

Tabla 4 Composición evaporada en el proceso

Sustancia Evaporada	Nomenclatura	Cantidad
Masa	$M^V$	907,006923
Fracion molar del eucalyptol	$m^V_s$	0,14
Fracion molar del agua	$m^V_{H_2O}$	0,86

Tabla 5 Contenido a la salida del proceso

Contenido A la Salida	Nomenclatura	Cantidad
Masa	$M^F$	9,72676816
Fracion molar del eucalyptol	$m^F_s$	0,40220292
Fracion molar del agua	$m^F_{H_2O}$	0,59779708

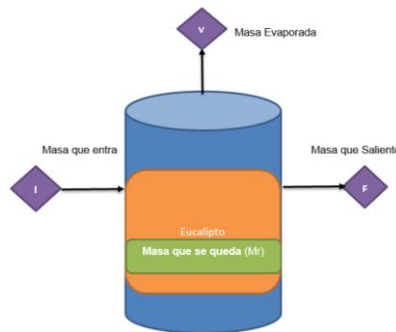


Figura 3 Balance de masa

Universidad Técnica del Norte. Josué Campos

Se habla de un cambio de estado, de líquido a vapor, se aprovecha esa energía interna que tiene este cambio, para provocar sudor en las hojas y condensarlo, pero cuanta energía será necesaria para esto, a continuación se presenta el balance de energía, tomando en cuenta la maquina como un caldero.

$$m1H1 + m3H3 + Q = m2H2 + m4H4$$

Ecuación 4 Balance de energía

Tabla 6 Gases de combustión iniciales

T inicial 1200

Componente	fracción molar	Cp. (cal/mol)
N <sub>2</sub>	0,766	7,5
CO <sub>2</sub>	0,04	11,94
H <sub>2</sub> O	0,06	9,2
O <sub>2</sub>	0,134	7,94

C<sub>p</sub> promedio 7,83856 cal/mol°C

Tabla 7 Gases de combustión finales

T final 400

Componente	fracción molar	Cp. (cal/mol)
N <sub>2</sub>	0,766	7,09
CO <sub>2</sub>	0,04	10,48
H <sub>2</sub> O	0,06	8,35
O <sub>2</sub>	0,134	7,4
C <sub>p</sub> promedio	7,34274	cal/mol°C

Tabla 8 Agua de entrada

Componente	Cantidad	Unidad
M3	12,5	Kg/h
T	20	°C
H3	84	kJ/kg

Tabla 9 Vapor de salida

Componente	Cantidad	Unidad
M4 (kg/h)	20	Kg/h
T (°C)	100	°C
H4 (cal/kg)	419,17	kJ/kg
	100,117034	cal/g
	100117,034	cal/kg

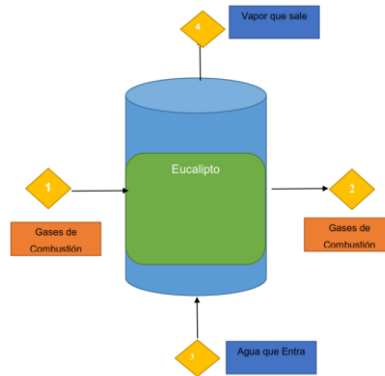


Figura 4 Balance general de energía

#### IV DISEÑO Y CONTROL

Para el control del caldero se seleccionó una placa electrónica basada en el micro controlador ATmega328, modelo Uno del fabricante Arduino, y se escogió debido a su amigable entorno para programar (Hardware), facilidad de adquirirla, su precio, y la cantidad de información existente, gracias a sus características que presta para este presente control.



Figura 5 Placa Arduino Uno

La figura 6 muestra un bosquejo del control de manera general del cual la placa estará monitoreando todo el proceso en tiempo real.

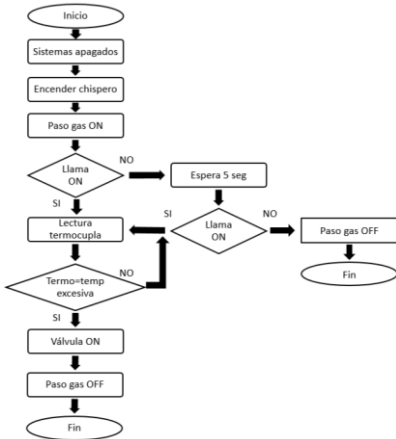


Figura 6 Esquema general de control

Describí la secuencia o pasos que se deben de realizar para el control básico del calderín, para ello consta de tres bloques principales.

➤ **BLOQUE DE ENCENDIDO**

La función del bloque de encendido es de generar la llama de una manera adecuada, es decir de una manera segura y rápida.

Se cuenta con una termocuple tipo J, la cual llega hasta los 500 °C, esta es linealizada a través de un integrado AD594 utilizando su junta fría incorporada, a parte un sensor de flama, que trabaja con luz infrarroja, permitiendo que a la mínima aparición de llama este detecte, así mismo si la llama desaparece, enviando señal continua al controlador, una LCD da advertencia de algún cambio significativo.

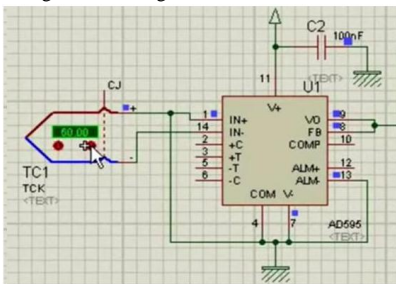


Figura 7 Diagrama de termocuple

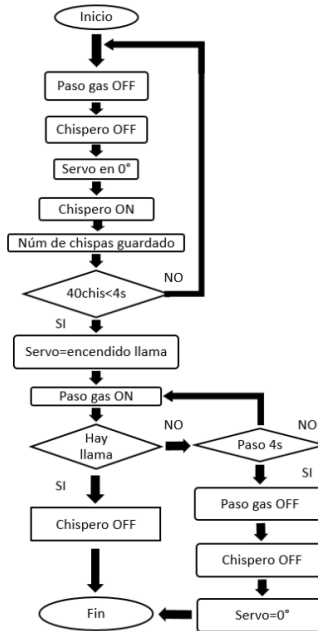


Figura 8 Flujograma de encendido

➤ **BLOQUE DE CONTROL**

En este bloque la variable a controlar es la temperatura, gracias a que se cuenta con el modelo matemático del capítulo tres, se sabe cuál es la presión/temperatura a la que se trabajara para obtener la esencia de eucalipto.

De acuerdo a la lectura de temperatura enviada por la termocuple, un juego de engranes adaptado a un servo motor permite que se regule la intensidad de la llama, permitiendo variar la temperatura interna del caldero.



Figura 9 Engranes de regulación de llama

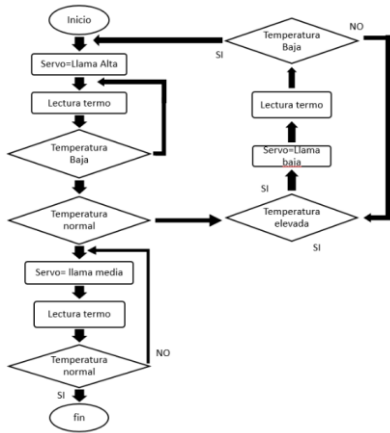


Figura 10 Flujograma de control

➤ **BLOQUE DE ACTUADORES**

El bloque de actuadores es la esquematización de lo que el sistema hará en caso que lo necesite, tanto por software como hardware, ya que las rutinas de programación de Arduino permiten cortar el paso de energía de manera inmediata, así como elementos de disparo mecánico, por así decirlo, en el peor de los casos haya una sobre presión en el interior del caldero, condicionando la calidad del aceite, se cuenta con válvula de regulación de vapor, permite desalojar el vapor del interior del caldero.



Figura 11 Válvula de alivio

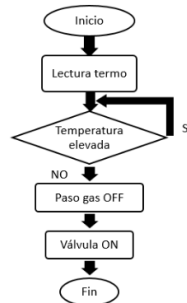


Figura 12 Flujograma de actuadores

**V PRUEBAS AJUSTES Y RESULTADOS**

El efectuar pruebas a cada componente del sistema, permite obtener valores de funcionamiento, siendo estos analizados, para reconocer las variables críticas y los elementos que controlarían cada uno de los procesos.

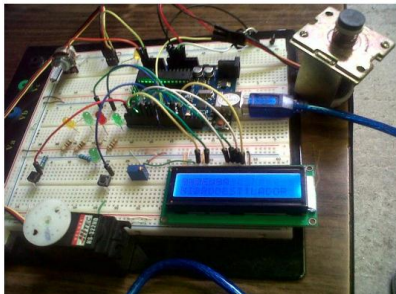


Figura 13 Circuito armado en protoboard

**A. Encendido de llama**

Para la realización de esta prueba se contó con la hornilla a utilizar, más la ayuda de las bujías de alto voltaje, conocidas también como chisperos.

Figura 14 Encendido automático de llama

Los resultados alcanzados son establecidos a través de un número de pruebas, siendo estas realizadas individualmente para analizar su comportamiento, una vez que se ha visto que su funcionamiento no ha variado ni ha generado errores se procede a realizar pruebas del conjunto entero.



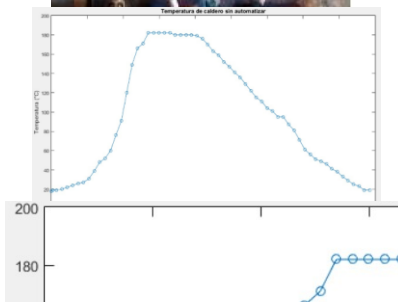
Figura 15 Resultado de encendido de llama

**B. Temperatura de caldero**

Es necesario saber con qué temperaturas se está por trabajar, para ello es vital hacer un chequeo en el interior del caldero, aprovechando la interfaz de usuario que presta Arduino uno, se enlazo a través de la plataforma Matlab para poder graficar en tiempo real las temperaturas que llega a tener el caldero en su interior y saber de esta manera el tope máximo de temperatura registrada, resolviendo el porqué del olor a quemado que presentaba el aceite esencial de eucalipto.

Figura 16 Pico de temperatura interna en caldero

**C. Presión y temperatura**



Para las pruebas de presión, primero se simulo con potenciómetros en la placa montada con Arduino, esperando ver como variía la intensidad de llama o a su vez simulando el peor de los casos (presión excesiva en el interior del hidrostilador), al satisfacer las necesidades del control, se procedió a instalar a un lado del caldero un manómetro que facilitara la lectura de la presión al operario, al igual la colocación de la termocupla tipo J, esto con el fin de tener una relación de presión temperatura.

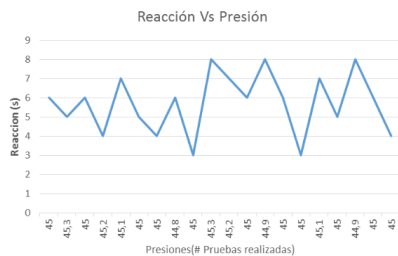


Figura 17 Reacción vs Presión elevada

**D. Llenado del caldero**

Para el llenado se tiene que contar con el material y la cantidad de hojas necesarias para la hidrostilación, para ello y basados en los cálculos anteriormente realizados, se obtuvo que el hidrostilador contara con la cantidad de 28 kilogramos de material herbáceo (si el objetivo es obtener el aproximado a 240 mililitros de esencia pura de eucalipto)

**E. Destilación de aceite**

Universidad Técnica del Norte. Josué Campos

Una vez que el caldero esta sellado y se da paso al encendido de llama, hay que esperar hasta que el nivel del aceite no varíe, de este modo se sabe que se ha terminado la extracción del aceite que se encontraban en las hojas que se depositaron en el interior del caldero, dando por terminado el proceso de obtención de aceite por el método de hidrodestilación.



Figura 18 Obtención de aceite esencial de eucalipto

## VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

- La investigación permitió indagar en el proceso de hidrodestilación y la comprensión de los fenómenos físicos, termodinámicos y químicos inmiscuidos en el tema, identificando así las variables a ser controladas.
- Las pruebas realizadas a cada elemento del sistema arrojaron resultados satisfactorios de su funcionamiento.
- El nuevo sistema implementado provee de seguridad al operario al momento de trabajar con el caldero, diseñando con un circuito de control que utiliza elementos tanto mecánicos como electrónicos, usando sensores y actuadores que consiguen una extracción de aceite en condiciones fiables.
- La automatización propuesta de la máquina hidrodestiladora de aceite, asegura obtener una esencia pura de eucalipto, con un aroma y color propios de un aceite de calidad.
- El proyecto referencia al control automático como una fuente de mejora industrial al proporcionar de soluciones que proveen resultados óptimos, dejando en claro que la ingeniería, no solo relaciona el mejoramiento de procesos, sino también

cuida la integridad humana al hacerlos seguros.

### Recomendaciones

- Siendo vital el mantenimiento del hidrodestilador, se aconseja llevar un registro de trabajo, programando con anticipación el tiempo de estas inspecciones, evitando alguna falla que se pueda presentar con el tiempo.
- Tener cuidado cuando se trabaja con presiones altas, si se hacen modificaciones a la maquinaria, estar seguros que se cuenta con sellos herméticos.
- Cuando se trabaje con gas se debe conocer el caudal de combustible que se está manipulando, y en cuanto tiempo tardaría en vaciarse u ocupar el local donde está situado en caso de fuga (con estos datos se trabaja en las programaciones de purga en calderos industriales); para nuestro caso ese tiempo es vital para manejar cierre de válvulas.
- Para tener un mayor control de la presión de vapor a la que trabajaría el hidrodestilador, se recomienda modificar el sistema dividiéndolo en una primera fase de generación de vapor el cual sería inyectado a una segunda donde estaría el depósito de las hojas.

El proceso terminado da como un resultado un aceite ligero y de color amarillo pálido [6], una forma práctica de saber que el proceso está bien realizado es observando la terminación de las hojas de eucalipto, ya que si se extrae todo el aceite de las hojas, estas salen sin olor y de color oscuras.



Figura 19 Hojas de eucalipto destiladas





Figura 20 Sistema implementado

### REFERENCIAS

- [1] B. C. d. Ecuador, «Importaciones y Exportaciones 2013,» *PRO ECUADOR*, p. 46, 2013.
- [2] Z. Moncayo, «fito terapia y natura,» 5 2 2012. [En línea]. Available: <http://www.fitoterapiaynatura.com/img2/decantadorsolo250.gif>. [Último acceso: 2 4 2015].
- [3] U. d. Chile, «Densidad Basica del Eucalyptus Globulus,» 2015.
- [4] H. O. CHEMICAL PROCESS PRINCIPLES., LONDO: CHAPMAN AND HALL, 1947.
- [5] C. Y., Transferencia de calor y masa, México: McGraw-Hill, 2010.
- [6] L. J., «arboles ornamentales,» 10 02 2012. [En línea]. Available: <http://www.arbolesornamentales.es/Eucalyptusglobu.jpg>. [Último acceso: 15 02 2015].

### Autor

WELINGTONS JOSUÉ CAMPOS LANSINOT.

Nació en la ciudad de Ibarra –Imbabura- Ecuador, el 28 de diciembre de 1989.

Estudios Universitarios realizados en la Universidad Técnica del Norte, Carrera de ingeniería Mecatrónica.