



UTMACH

UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA
SALUD

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD RELATIVA EN UN PUNTO DE
LOS CANTONES PASAJE, PIÑAS Y HUAQUILLAS MEDIANTE EL USO
DEL DIAGRAMA PSICROMÉTRICO

OSTAIZA MENDOZA DEIVIS ADRIAN
INGENIERO QUÍMICO

MACHALA
2017



UTMACH

UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA
SALUD

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD RELATIVA EN UN PUNTO
DE LOS CANTONES PASAJE, PIÑAS Y HUAQUILLAS MEDIANTE
EL USO DEL DIAGRAMA PSICROMÉTRICO

OSTAIZA MENDOZA DEIVIS ADRIAN
INGENIERO QUÍMICO

MACHALA
2017



UTMACH

UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA
SALUD

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

EXAMEN COMPLEXIVO

DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD RELATIVA EN UN PUNTO DE LOS
CANTONES PASAJE, PIÑAS Y HUAQUILLAS MEDIANTE EL USO DEL DIAGRAMA
PSICROMÉTRICO

OSTAIZA MENDOZA DEIVIS ADRIAN
INGENIERO QUÍMICO

ESPINOZA RAMON WASHINGTON OMAR

MACHALA, 21 DE AGOSTO DE 2017

MACHALA
21 de agosto de 2017

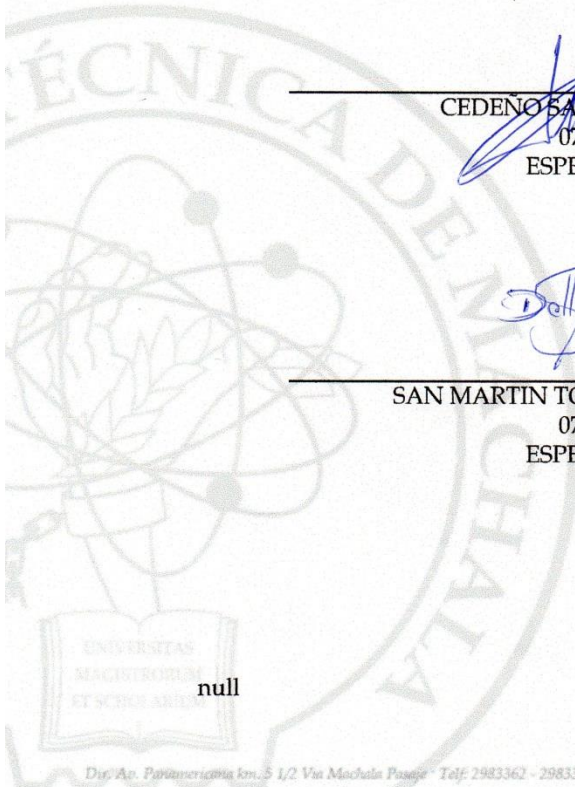
Nota de aceptación:

Quienes suscriben, en nuestra condición de evaluadores del trabajo de titulación denominado Determinación de la humedad relativa en un punto de los Cantones Pasaje, Piñas y Huaquillas mediante el uso del diagrama psicrométrico, hacemos constar que luego de haber revisado el manuscrito del precitado trabajo, consideramos que reúne las condiciones académicas para continuar con la fase de evaluación correspondiente.

ESPINOZA RAMON WASHINGTON OMAR
0704015353
TUTOR - ESPECIALISTA 1

CEDENO SARES LUIS ALBERTO
0703171314
ESPECIALISTA 2

SAN MARTIN TORRES DELLY MARIBEL
0702929712
ESPECIALISTA 3



Urkund Analysis Result

Analysed Document: OSTAIZA_MENDOZA_DEIVIS_ADRIAN.pdf (D29661332)
Submitted: 2017-07-17 04:01:00
Submitted By: dostaiza_est@utmachala.edu.ec
Significance: 4 %

Sources included in the report:

humedad.pdf (D23013317)
<http://jonacuena1990.blogspot.com/>

Instances where selected sources appear:

3

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

El que suscribe, OSTAIZA MENDOZA DEIVIS ADRIAN, en calidad de autor del siguiente trabajo escrito titulado Determinación de la humedad relativa en un punto de los Cantones Pasaje, Piñas y Huaquillas mediante el uso del diagrama psicrométrico, otorga a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

El autor declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

El autor como garante de la autoría de la obra y en relación a la misma, declara que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asume la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.

Machala, 21 de agosto de 2017



OSTAIZA MENDOZA DEIVIS ADRIAN
1311659336

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico a Dios que supo guiarme por un buen camino, por ayudarme a no desmayar ante las adversidades que se me presentaban enseñándome a encarar los problemas sin desfallecer en el intento.

A mis padres NARCISO LEOPOLDO OSTAIZA SOLÓRZANO y BERNARDITA ELIZABETH MENDOZA INTRIAGO por su apoyo, comprensión, amor y por ayudarme con los recursos necesarios para estudiar. Por formarme con carácter, valores y perseverancia para lograr mis objetivos, a mi hermana VALERIA OSTAIZA por brindarme su mano amiga y apoyarme en este maravilloso camino.

A mis amigos que hoy puedo llamar colegas, por siempre darme los consejos necesarios en los momentos donde la presión y angustia se apoderaba de mí.

A mi abuelita LUZ MARINA SOLORZANO VERA que a pesar de no estar físicamente, siento que está siempre junto a mí y aunque me faltaron muchos momentos por vivir estoy seguro que este momento también hubiera sido especial para ella como lo es para mí.

DEIVIS ADRIAN OSTAIZA MENDOZA

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres y nunca me cansare de darles las gracias, porque son ellos lo que me han hecho llegar hasta donde estoy, quizás no tienen los recursos necesarios, pero ver la manera para que no te falte nada y apoyarte para que te puedas superar es algo que solo el amor de una familia lo puede lograr.

También tengo que agradecer a mis compañeros y amigos que fueron un gran apoyo en este hermoso camino, en el cual compartimos bonitas experiencias.

A su vez también quiero agradecer a los docentes que siempre estuvieron ahí para resolver cualquier inquietud en el transcurso de mi carrera como ahora en mi proyecto.

DEIVIS ADRIAN OSTAIZA MENDOZA

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo determinar la humedad relativa en puntos específicos de los cantones Pasaje, Piñas y Huaquillas usando instrumentos de medición de temperaturas en conjunto con el diagrama psicométrico, además de obtener una metodología de cálculo para cuantificar la humedad relativa del ambiente con los datos de campo obtenidos y comparar los resultados obtenidos en estas tres ciudades.

Para medir la temperatura de bulbo seco, se utilizará un termómetro de mercurio sin modificar en una zona con sombra para evitar el sobrecalentamiento producido por el sol. De este modo, se obtendrá el valor de temperatura en grados centígrados que haga en ese momento.

Para medir la temperatura de bulbo húmedo, se envolverá el bulbo o depósito de mercurio de otro termómetro en un algodón saturado en agua. La temperatura en bulbo húmedo siempre será inferior a la del bulbo seco, ya que la evaporación de agua ejerce un efecto de enfriamiento.

Como habitualmente la humedad relativa no es del 100%, con la diferencia de temperatura entre el termómetro de bulbo seco y húmedo podremos averiguar mediante fórmulas matemáticas y el uso del diagrama psicométrico la humedad relativa del ambiente y demás propiedades del aire.

Palabras claves: Humedad, temperatura, psicométrico, ambiente, bulbo seco, bulbo húmedo, saturación, aire.

ABSTRACT

The present project has to objective to determinate the relative humidity in the specific point in three cities of El Oro Province: Pasaje, Piñas and Huaquillas, using temperature measuring instruments with psicometric diagram, also to obtain a calculate methodology for quantify the relative humidity of enviroment with the field data obtained and compare the results in this three cityes.

To measure the dry bulb temperature, a mercury thermometer will be used in a shadow zone to evite overheating caused by the sun. Of this way, it get the temperature value in degrees centigrade you make at that time.

To measure the humidity bulb temperature, the bulb will be wrapped or the mercury deposit of other thermometer in water saturate cotton. The humidity bulb temperature will be less to the dry bulb, because the water evaporation exerts a cooling effect.

As usually the relative humidity is not 100%, with the diferent of temperature between the dry bulb and humidity could to find using mathematical formulas and the psicometric diagram, the relative humidity fo enviroment and others air properties.

Keys words: humidity, temperature, psicometric, enviroment, dry bulb, humidity bulb, saturation, air.

INDICE

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO.....	ii
RESUMEN.....	iii
ABSTRACT.....	iv
INDICE.....	v
UNIDADES.....	vi
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. HUMEDAD Y CONDICIONES DEL AIRE HÚMEDO.....	2
2.1. Parámetros de Humedad.....	3
3. METODOLOGÍA.....	10
4. CONCLUSIONES.....	12
REFERENCIAS.....	13
ANEXOS.....	15

UNIDADES

Y_m = moles vapor/moles gas seco

C_s = Joules de la mezcla gaseosa/Kg.B.°K

°C = Temperatura en grados Celsius.

°F = Temperatura en grados Fahrenheit.

T_D = Temperatura de rocío.

T_G = Temperatura de bulbo seco de la masa gaseosa

T_w = Temperatura de bulbo húmedo

λ_w = Calor latente de vaporización del líquido o la temperatura húmeda

Y_{a_w} = Es la humedad de saturación a la temperatura húmeda

Y_a = Es la humedad absoluta de la masa gaseosa

k_G = Coeficiente individual de transferencia de calor o coeficiente de película

k_Y = Coeficiente individual de transferencia de masa referida a la humedad absoluta

k_G/k_Y = Se denomina coeficiente psicrométrico y sus valores para mezclas se encuentran tabulados y se pueden determinar en la siguiente ecuación

INTRODUCCIÓN

Las operaciones de humidificación se ocupan de la transferencia de masa interfacial y de energía, que resulta cuando los gases se ponen en contacto con un líquido puro el cual prácticamente es insoluble (masa del líquido hacia el gas). En este caso, la materia transferida entre las fases es la sustancia que forma la fase líquida puede modificar las condiciones de humedad de una corriente de aire (fase gaseosa) por interacción de entre ambas. Su aplicación más extendida es al sistema aire/agua.

En el siguiente trabajo se plantea como objetivo determinar la humedad relativa en puntos específicos de los cantones Pasaje, Piñas y Huaquillas mediante el uso de instrumentos de medición de temperaturas y del diagrama psicrométrico, además de obtener una metodología de cálculo para cuantificar la humedad relativa del ambiente con los datos de campo obtenidos y comparar los resultados obtenidos en estas tres ciudades.

La humedad relativa es necesaria para definir la zona de confort de un proyecto industrial o arquitectónico. Una humedad relativa muy alta puede perjudicar trabajos en donde se utilicen madera. Una exposición prolongada a una humedad alta puede agrietar vigas e incluso provocar la descamación de estas. (10)

Para llegar a un diseño arquitectónico integrado en su medio ambiente y sobre todo para aprovechar positivamente las condiciones del medio, hay que tener en cuenta toda una serie de variables, que pueden ser reflejadas y acogidas en la formalización y adecuación constructiva.

Como en todos los problemas de transferencia de masa para lograr una comprensión cabal de las operaciones, es necesario familiarizarse con las características en el equilibrio de los sistemas, sin embargo, puesto que la transferencia de masa en estos casos estará acompañada invariablemente de una transferencia simultánea de energía también deben considerarse las características de entalpía de los sistemas.

Humedad y condiciones del aire húmedo

El vapor de agua se forma a causa de la evaporación del líquido presente en el ambiente debido a actividades naturales o cotidianas; por ejemplo, las viviendas producen elevadas cantidades de vapor, por actividades de cocina, lavado y los mismos habitantes a través de la respiración y transpiración (11).

Este vapor de agua es absorbido por el aire en cantidades que dependen de las condiciones ambientales provocando un aumento en el contenido de humedad. La máxima cantidad de vapor que el aire puede absorber (100%) es llamada cantidad de saturación y aumenta en función de la temperatura a un mismo volumen (22).

El aire en la atmósfera se considera normalmente como una mezcla de dos componentes: aire seco y vapor de agua (23).

La humedad absoluta es la cantidad de vapor de agua contenida en un metro cúbico de aire se expresa en gramos sobre metro cúbico (para el sistema internacional) (22).

Esta humedad varía a lo largo del día en cierta sintonía con la temperatura ya que al aumentar la temperatura aumenta la evaporación y en consecuencia el flujo de vapor de agua hacia la atmósfera. La humedad relativa es inversa a la humedad absoluta. (3).

La humedad relativa (Y_r) es el porcentaje de la presión de vapor de saturación que representa la presión de vapor real, es decir, la relación de la cantidad de humedad contenida en un espacio dado y la que podría contener en el mismo espacio, si estuviera saturado (22).

Ya que muchas veces se requieren conocer la cantidad de vapor transportado en el aire bajo varias condiciones, los cambios en contenido de calor y en contenido de humedad del gas en contacto con un líquido o un sólido húmedo, es necesario que la presión total del sistema esté determinada puesto que las propiedades de una mezcla de vapor – gas seco varían con la presión total. (22)

Cuando el líquido está más caliente que el gas, el calor total transmitido procede del líquido. Esto lo podemos esquematizar en el siguiente modelo, donde debe entenderse que la interfase líquido-gas es la línea vertical central del esquema y sobre la cual se representan como ordenadas (de escala arbitraria) los valores de humedad y temperatura correspondientes. (6)

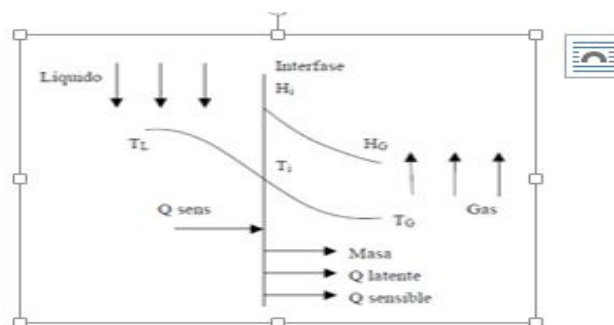


Figura 1.-

Cuando el gas está más caliente que el líquido, se transmite calor sensible del gas al líquido, mientras que se quita calor latente.

Cuando el gas está más caliente que el líquido, se transmite calor sensible del gas al líquido, mientras que se quita calor latente.

En algunas operaciones es necesario efectuar cálculos que involucran las propiedades de la mezcla gaseosa (11).

Parámetros de Humedad

Se considera que por lo general las mezclas gaseosas cumplen aceptablemente las condiciones de los gases ideales. A continuación, algunos conceptos más utilizados (8):

Saturación molar o humedad molar (Y_m).- Es el cociente entre los moles de vapor y los moles de gas seco. Si llamamos con la letra A al vapor y con la letra B al gas seco, tenemos (8):

$$Y_m = \frac{\text{moles de vapor}}{\text{moles de gas seco}} = \frac{\text{moles A}}{\text{moles B}}$$

$$Y_m = \frac{n_A}{n_B} = \frac{P_A}{P_B} = \frac{P_A}{P_t + P_A} = \frac{\text{moles A}}{\text{moles B}}$$

Saturación absoluta o humedad absoluta.- Se refiere a la cantidad de vapor de agua contenido en un metro cúbico de aire. Es el cociente entre la masa de vapor a la masa del gas seco; designando con " Y_a " tenemos (8):

$$Y_a = Y_m \left(\frac{\text{moles vapor}}{\text{moles gas seco}} \right) \cdot \frac{M_A \left(\frac{\text{masa vapor}}{\text{moles de vapor}} \right)}{M_S \left(\frac{\text{masa de gas seco}}{\text{moles de gas seco}} \right)}$$

Saturación relativa o humedad relativa.- Es la relación entre la humedad absoluta y la cantidad de saturación. El término saturación se aplica a una masa de aire que a cierta temperatura y cierta presión posee la máxima cantidad de agua posible. Es el cociente entre la presión total del vapor y la presión de vapor del líquido puro, a la misma temperatura de la mezcla gaseosa " Y_r ". (10)

$$Y_r = \frac{P_A}{P_{VA}} \times 100$$

% de Saturación o % de Humedad.- Es el cociente entre los moles de vapor por mol de gas seco realmente presentes a moles de vapor por mol de gas seco a condiciones de saturación, " Y_p " (13).

$$Y_p = \frac{\left(\frac{\text{moles vapor}}{\text{moles gas seco}}\right)_{\text{Presentes}}}{\left(\frac{\text{moles vapor}}{\text{moles gas seco}}\right)_{\text{Saturación}}} \times 100 = \frac{\left(\frac{n_A}{n_B}\right)_{\text{Presente}}}{\left(\frac{n_A}{n_B}\right)_{\text{Saturado}}} \times 100 = \frac{\frac{P_A}{P_t + P_A}}{\frac{P_A}{P_t + P_{VA}}} \times 100$$

Temperatura del bulbo seco “T_G”.- Es la temperatura de una mezcla gaseosa vapor - gas seco determinada ordinariamente al colocar un termómetro en la mezcla gaseosa (9).

Punto de Rocío.- Es la temperatura a la cual una mezcla gaseosa vapor – gas seco se logra saturar cuando se enfría (disminuyendo su temperatura) a presión total constante sin contacto con el líquido. Se la obtiene a partir de un diagrama psicrométrico (15).

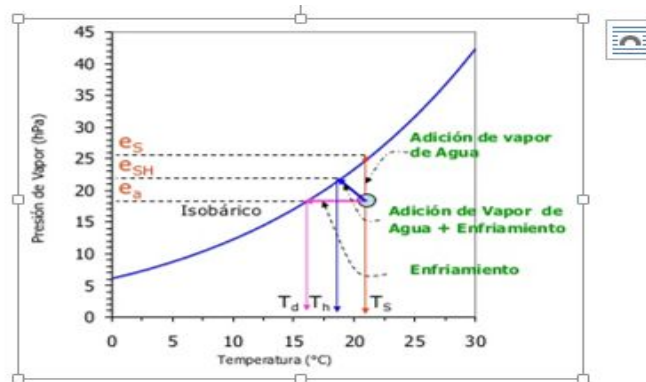


Figura 2.- Representación de un diagrama psicrométrico para la determinación del punto de rocío, “Td”.

Volumen Húmedo.- Es el volumen de una masa de gas seco (1gr de gas seco, 1 Kg de gas seco o 1 lb de gas seco) más la masa del vapor que se encuentra acompañándolo en la mezcla gaseosa presente, “Vh”. (10)

$$V_h = n_t \cdot \frac{R \cdot T_G}{P_t}$$

$$V_h = \left[\frac{1}{M_B} + \frac{Y\alpha}{M_A} \right] \cdot \frac{R \cdot T_G}{P_t}$$

Calor húmedo “Cs”.- Es el calor necesario para elevar 1°C la temperatura de una masa de gas seco más la masa de vapor que lo acompaña en la mezcla gaseosa presente a presión constante (15).

$$C_s = \overline{Cp_B} + Y_a \cdot \overline{Cp_A} \quad \frac{\text{Joules de la mezcla gaseosa}}{\text{Kg B } ^\circ\text{K}}$$

$$C_s = (1 \text{ Kg B}) \cdot Cp_s \left(\frac{\text{Joules}}{\text{Kg B } ^\circ\text{K}} \right) + (1 \text{ Kg B}) \cdot Y_a \left(\frac{\text{Kg A}}{\text{Kg B}} \right) \cdot \overline{Cp_A} \left(\frac{\text{Joules}}{\text{Kg A } ^\circ\text{K}} \right)$$

$\overline{Cp_A}$: Capacidad calórica promedio del vapor en $\left(\frac{\text{BTU}}{\text{lb A } ^\circ\text{F}} \right)$; $\left(\frac{\text{KCal}}{\text{Kg A } ^\circ\text{C}} \right)$; $\left(\frac{\text{Joules}}{\text{Kg A } ^\circ\text{K}} \right)$

$\overline{Cp_B}$: Capacidad calórica promedio del gas seco en $\left(\frac{\text{BTU}}{\text{lb B } ^\circ\text{F}} \right)$; $\left(\frac{\text{KCal}}{\text{Kg B } ^\circ\text{C}} \right)$; $\left(\frac{\text{Joules}}{\text{Kg B } ^\circ\text{K}} \right)$

Si no existe evaporación ni condensación el calor sensible necesario para que la temperatura de una masa de gas seco por unidad de tiempo y el vapor que lo acompaña incrementa su temperatura en una cantidad ΔT , será (15):

$$q = \left(W_B + \frac{\text{Kg B}}{\text{seg}} \right) \cdot \overline{C_s} \left(\frac{\text{Joules de la mezcla gaseosa}}{\text{Kg B } ^\circ\text{K}} \right) \cdot \Delta T (^\circ\text{K})$$

$$q = (W_B) \cdot \overline{C_s} \cdot \Delta T \left(\frac{\text{Joules de la mezcla gaseosa}}{\text{seg}} \right)$$

Entalpía específica "H".- La entalpía relativa de una mezcla gaseosa es la suma de las entalpías relativas de una masa de gas seco (1 Kg de gas seco, 1 lb de gas seco o 1gr de gas seco) y del vapor que lo acompaña en la mezcla gaseosa (9).

$$H = (1 \text{ Kg B}) \cdot \left(\overline{Cp_B} \frac{\text{Joules}}{\text{Kg B } ^\circ\text{K}} \right) \cdot [(T_c - T_{ref_B})^\circ\text{K}]$$

$$+ \left[1 \text{ Kg B} \cdot Y_a \left(\frac{\text{Kg A}}{\text{Kg B}} \right) \right] \cdot \left(\overline{Cp_B} \frac{\text{Joules}}{\text{Kg B } ^\circ\text{K}} \right) + [(T_B - T_{ref_A})^\circ\text{K}]$$

$$+ \left(\lambda_{ref_A} \frac{\text{Joules}}{\text{Kg A}} \right) + Y_a \left(\frac{\text{Kg A}}{\text{Kg B}} \right)$$

Si la temperatura de referencia de A es igual a la temperatura de referencia de B, nos queda:

$$H = [(\overline{C}_{pB} + Y_a \cdot (\overline{C}_{pA})) (T_G - T_{refA}) + (Y_a \cdot \lambda_{refA})]$$

Diagrama Psicométrico.-

Son diagramas en el que se pueden representar las humedades absolutas en función de la temperatura. El sistema vapor de agua – aire seco aparece con tanta frecuencia por lo que se encuentran gráficas bastantes completas (8).

En la tabla psicométrica se pueden conocer las propiedades del aire ambiente conociendo dos datos como puede ser temperatura de bulbo seco y temperatura de bulbo húmedo (10). Debe observarse que todas las cantidades: humedad absoluta, entalpía específica, volumen húmedo y % de saturación están graficadas contra la temperatura que se utiliza como abscisa (13).

En el caso de las entalpías las condiciones de referencia utilizadas fueron aire seco y agua líquida saturada a 0 °C o 32 °F de tal forma que las cartas pueden utilizarse conjuntamente en tablas de vapor de agua. Los datos para la entalpía de aire saturado se grafican en 2 escalas para lograr el amplio rango de valores necesarios (13).

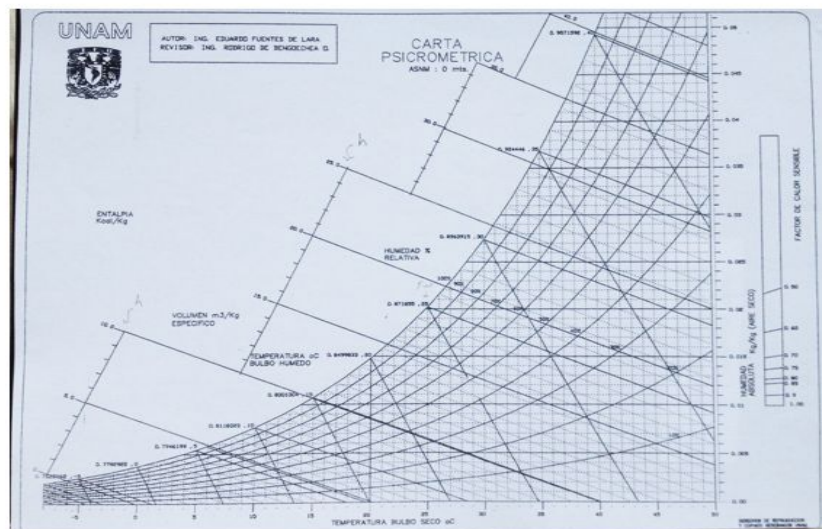


Figura 3.- Diagrama psicométrico

Temperatura de saturación adiabática (T_{sat}).- Para muchas necesidades de ingeniería es importante determinar lo que sucede con una cantidad de gas, cuando se pone en contacto con una determinada cantidad de líquido, de forma que el gas cambia continuamente su temperatura y humedad. Consideremos que una corriente de gas húmedo no saturado pasa a través de un equipo en el que se pone en contacto con un líquido pulverizado; el gas a medida que avanza se enfría y se humidifica, y si el contacto es lo suficiente, el gas saldrá prácticamente saturado a la temperatura del líquido. En cambio si el tiempo de contacto no es lo suficiente, el gas saldrá a una humedad menor que la de saturación y a una temperatura ligeramente más alta que la del líquido pulverizado (8).

Las líneas de saturación adiabática son esencialmente líneas de entalpía constante ya que en ellas se omite la ligera contribución sobre la entalpía total de las verdaderas cantidades pequeñas de agua que se evaporan en el proceso (9).

La siguiente ecuación que nos permite determinar la temperatura de saturación adiabática es producto de un balance de energía en forma de entalpía (13):

$$T_G - T_{sat} = \frac{\lambda_{sat}(Y_{a_{sat}} - Y_a)}{C_s}$$

Temperatura de bulbo húmedo “Tw”.- Es la temperatura estacionaria de equilibrio alcanzada por una pequeña cantidad de líquido que se evapora en una gran masa de gas no saturado. La temperatura de bulbo húmedo es siempre menor que la temperatura de bulbo seco, excepto en condiciones de saturación, que son iguales. Para determinar la temperatura de bulbo húmedo se recubre el bulbo del termómetro con un algodón o envoltura parecida empapada con el líquido del vapor que está asociado con el gas seco (10).

La circulación del gas húmedo no saturado se activa con un ventilador o moviendo rápidamente el termómetro; como el gas no está saturado al pasar sobre el líquido tiende a saturarse a expensas de la evaporación del líquido (6).

Para ello es necesario una cantidad de calor correspondiente al calor latente de evaporación del líquido que es lo que pierde el aire en forma de calor sensible y en consecuencia la capa de aire se enfría hasta una temperatura tanto más baja cuanto más intensa sea la evaporación (12).

Finalmente se alcanza el régimen estacionario o permanente a una temperatura tal que las pérdidas de calor del líquido por evaporación son exactamente igual al calor que pasa desde el gas al líquido como calor sensible. Con estas condiciones la temperatura del líquido permanece constante y es lo que se denomina temperatura de bulbo húmedo (13):

La relación matemática que permite calcular la temperatura de bulbo húmedo es (13):

$$T_G - T_W = \frac{\lambda_w (Y_{aw} - Y_a)}{\frac{k_G}{k_Y}}$$

Donde:

T_G = Temperatura de bulbo seco de la masa gaseosa

T_W = Temperatura de bulbo húmedo

λ_w = Calor latente de vaporización del líquido o la temperatura húmeda

Y_{aw} = Es la humedad de saturación a la temperatura húmeda

Y_a = Es la humedad absoluta de la masa gaseosa

k_G = Coeficiente individual de transferencia de calor o coeficiente de película

k_Y = Coeficiente individual de transferencia de masa referida a la humedad absoluta

k_G/k_Y = Se denomina coeficiente psicrométrico y sus valores para mezclas se encuentran tabulados y se pueden determinar en la siguiente ecuación (8):

$$T_G - T_W = \frac{\lambda_w (Y_{aw} - Y_a)}{\frac{k_G}{k_Y}}$$

Donde:

- Cs = Calor húmedo
- Sc = Número de Smith
- Pr = Número de Prand

Debe observarse que la ecuación para la saturación adiabática es idéntica a la ecuación de la temperatura de bulbo húmedo si se reemplaza el calor húmedo "Cs" por el coeficiente de saturación adiabática, como si fueran las de temperatura de bulbo húmedo en el caso del sistema vapor de agua - aire seco (15).

METODOLOGÍA

Con el objeto de determinar la humedad relativa de los cantones Pasaje, Piñas y Huaquillas para luego comparar valores y condiciones ambientales del aire, se planteó la toma de temperaturas en puntos específicos de estas ciudades; estas mediciones se realizaron en el mes de Junio de 2017, conocido por ser la temporada de verano en esta época del año; se identificó cada punto con las coordenadas respectivas y se aplicó la siguiente metodología para la toma de temperaturas:

Para la medición correcta de la temperatura de bulbo seco, se colocó un termómetro de mercurio sin modificaciones en una zona con sombra para evitar el sobrecalentamiento producido por el sol. De esta manera, se obtuvo el valor de temperatura en grados centígrados de ese momento (6).

Además todas las mediciones se realizaron a la misma hora (10h00), en diferentes días, en situaciones climáticas similares. Vale anotar también que estas mediciones se realizaron en el mes de Julio (época de verano).

Para la medición de la temperatura de bulbo húmedo, se envolvió el bulbo o depósito de mercurio en un algodón saturado en agua. La temperatura en bulbo húmedo siempre será inferior a la del bulbo seco, ya que la evaporación de agua ejerce un efecto de enfriamiento. El calor se disipa por evaporación de agua, al igual que cuando las personas sudan. Si el aire está saturado de vapor de agua, o tiene el 100 por ciento de humedad relativa, la temperatura de bulbo húmedo y la temperatura de bulbo seco serán iguales, es decir, el bulbo húmedo no proporcionará un enfriamiento debido a que su agua no se evapora (15).

Como habitualmente la humedad relativa no es del 100%, la diferencia de temperatura entre el termómetro de bulbo seco y húmedo permitirá averiguar mediante fórmulas matemáticas y el diagrama psicrométrico la humedad relativa y demás propiedades del aire ambiente (8).

Las ciudades elegidas para la toma de temperaturas fueron las ciudades de Pasaje, Piñas y Huaquillas; en Pasaje, la temperatura se tomó en el centro de la ciudad (calles Ochoa León y Sucre); en Piñas se lo

realizó en las calles Sucre y Bolívar (Parque Central) y en Huaquillas la toma de temperatura se realizó en las calles Av. La República y calle Hualtaco (Parque el Algarrobo).

En la tabla 1 se muestran las coordenadas de los puntos escogidos en las tres ciudades.

	X	Y	h	Hora de toma de temperatura
Pasaje	632476	9632119	30 m	10h00
Piñas	646311	9593084	1020m	10h00
Huaquillas	584584	9615239	12m	10h00

Tabla 1.- Puntos de toma coordenadas

La tabla 2 muestra las temperaturas obtenidas en cada punto seleccionado.

Como se puede ver las temperaturas más bajas tanto para bulbo seco como para bulbo húmedo se dan en la ciudad de Piñas, mientras que las temperaturas más altas se dan en la ciudad de Huaquillas; esto se debe a la ubicación geográfica, mientras que Piñas se ubica a más de 1000 m.s.n.m. Huaquillas está prácticamente al nivel del océano y el calor y la humedad presentarán apreciables variaciones.

	Temperatura de bulbo seco (°C)	Temperatura de bulbo húmedo (°C)
Pasaje	27	25
Piñas	22	19
Huaquillas	31	25

Tabla 2.- Temperaturas obtenidas

En el proceso unitario de humidificación las temperaturas de bulbo seco y bulbo húmedo nos permitirán encontrar las propiedades del aire presentes en el área medida (punto de rocío, humedad absoluta, humedad relativa, entalpías, etc.).

Para ese fin utilizamos el diagrama psicrométrico en donde se representan dichas propiedades en función de la temperatura.

La tabla 3 muestra los valores obtenidos de las propiedades del aire en las tres ciudades a partir de sus temperaturas de bulbo seco y bulbo húmedo.

	Temperatura de Rocío (°C)	Humedad Absoluta (Kg H₂O/Kg Aire)	Entalpía (Kcal/Kg)	HUMEDAD RELATIVA (%)
Pasaje	24,3	0,0193	18,5	85%
Piñas	17,6	0,0156	13,2	76%

Huaquillas	22,5	0,0185	18,3	62%
-------------------	------	--------	------	-----

Tabla3. Propiedades del aire obtenidas a través del diagrama psicométrico

CONCLUSIONES

La provincia de El Oro posee una diversidad de climas que va desde el clima cálido en la región costanera hasta el frío andino en la Cordillera de Chilla. Las ciudades ubicadas en la zona baja tienen un clima cálido seco, en las que están cercanas a la frontera con el Perú (Huaquillas) y un clima cálido húmedo en aquellas próximas al Golfo de Guayaquil (Pasaje).

Entre la parte alta y baja existe una amplia faja laderosa (declives cordilleranos) dominada por un clima subtropical húmedo seguido del temperado y sub andino. Las ciudades de Zaruma, Piñas, Paccha y Chilla poseen un clima temperado, linderante con el sub andino.

La humedad relativa obtenida en las ciudades de Pasaje, Piñas y Huaquillas nos muestra que en general el clima de la provincia se caracteriza por presentar una gran cantidad de humedad en el aire.

Esto se puede notar en las diferencias de temperatura de bulbo seco y bulbo húmedo; como existe una gran cantidad de humedad en el ambiente (reflejada en el porcentaje de humedad relativa) los valores de ambas temperaturas fueron muy cercanos.

La diferencia de temperatura entre el bulbo seco y el bulbo húmedo es proporcional a la humedad. Si el agua que se evapora del algodón en el bulbo húmedo está en un ambiente seco, el aire va a absorber una gran cantidad de agua, por lo que la diferencia entre la temperatura seca y húmeda será más grande, pero, si el aire se encuentra casi saturado o saturado, el aire no absorberá demasiada agua, por lo que la temperatura húmeda tendrá un valor similar a la seca.

Las condiciones climáticas, en este caso la humedad, pueden afectar a materiales, equipos y/o sistemas industriales y estructuras en general, además de las personas, tanto por exceso como por defecto. La humedad del ambiente condiciona a los habitantes de un determinado sector al momento de tomar decisiones para la realización de trabajos de construcción o simplemente en su convivencia diaria.

La falta de datos continuos de las estaciones meteorológicas podría ser una limitante que afecte estudios relacionados con el monitoreo y análisis de eventos climáticos.

REFERENCIAS

1. Amarilla, R., Núñez, A., & Ruberto, A. R. (2004). *Estudio exploratorio de la humedad relativa en ambientes urbanos de regiones subtropicales*. Argentina: Departamento de Hidráulica – Facultad de Ingeniería – UNNE.
2. BADGER, W. L., & BANCHERO, J. T. (1970). *INTRODUCCIÓN A LA INGENIERÍA QUÍMICA*. USA: McGraw-Hill.
3. BLANCO, Y., DURAÑONA, H., & ACOSTA, R. (2016). EFECTO DE LA TEMPERATURA Y LA HUMEDAD EN LA CONSERVACIÓN DE GRANOS DE MAIZ EN SILOS METÁLICOS REFRIGERADOS. *Cultivos Tropicales*, 105-114.
4. CARRANZA, Y., ROMERO, C. A., & FLORES, E. G. (2015). Influencia del aire húmedo en la combustión del metano. *Scientia et Technica*, 364-370.
5. Cruz Moya, C. L. (2008). Sistemas de humidificación en ventilación mecánica. *TEORÍA Y PRAXIS INVESTIGATIVA*, 73-81.
6. FERNANDEZ, E., DÍAZ, A., & TORRES, K. (2013). Identificación de la temperatura y la humedad relativa en una manejadora de aire. *RCI*, 15-22.
7. GAITÁN, M., CANCINO, J., & BEHRENTZ, E. (2007). Análisis del estado de la calidad del aire en Bogotá. *Revista de Ingeniería*, 81-92.
8. GEANKOPLIS, C. J. (1998). *Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias*. Compañía Editorial Continental.
9. HIMMELBLAU, D. M. (1997). *Principios Básicos y Cálculos en Ingeniería Química*. Texas: Prentice-Hall.
10. MEDEIROS-JUNIOR, R. d., LIMA, M., & MEDEIROS, M. d. (2014). Discusión acerca de modelos para la estimación de la humedad relativa - estudio de caso de la costa brasileña frente la influencia en la durabilidad del hormigón. *Revista Ingeniería de Construcción*, 270-282.
11. MICHEL CORTÉS, R., HERBAS BARRANCOS, J. P., MAIZA, P., & ALEMAN, C. (2013). ANÁLISIS DEL GRADO DE CONTAMINACIÓN DEL AIRE EN LA CIUDAD DE TARIJA. *Ventana Científica*, 53-65.
12. MOLINA B., R. A., SILVA A., F., PERILLA, S., & SANCHEZ, H. (2015). Caracterización del ambiente térmico para la actividad ganadera bovina en el Valle del Cauca, Colombia. *Acta Agronómica*, 406-4112.
13. OCON G., J., & TOJO B, G. (1967). *Problemas de Ingeniería Química*. Madrid: Aguilar.
14. PEREZ, N., VALENZUELA, L., & DÍAZ, J. E. (2011). PREDICCIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE EQUILIBRIO DE LA MADERA EN FUNCIÓN DEL PESO ESPECÍFICO DE LA PARED CELULAR Y VARIABLES AMBIENTALES. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 253-266.
15. PERRY, R. (1999). *PERRY'S CHEMICAL ENGINEERS HANDBOOK*. ESTADOS UNIDOS: McGraw Hill.
16. PIÑEROS, R., & MORA, J. (2015). Índice de temperatura y humedad en una pastura convencional y un sistema agroforestal en el trópico seco de Colombia. *Zootecnia Tropical*, 207-216.
17. RAMOS H., S., BAUTISTA, R., & VALDEZ, A. (2010). ESTUDIO ESTADÍSTICO DE LA CORRELACIÓN ENTRE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS Y

VARIABLES METEOROLÓGICAS EN LA ZONA NORTE DE CHIAPAS, MEXICO. *Universidad y Ciencia*, 65-80.

18. Retamal, J., Castillo, J., Bugedo, G., & Bruhn, A. (2012). Encuesta sobre humidificación de la vía aérea en unidades de cuidados intensivos de adultos de Chile. *Revista Médica Chile* 2012, 1425-1430.
19. SANCHEZ E., K., & ALMAGUER Ch., M. (2014). Aeromicología y salud humana. *Revista Cubana de Medicina*, 322-337.
20. Smith, J., & McCabe, W. (1991). " *Operaciones Unitarias de Ingeniería Química*". Ed. Mc.Graw Hill.
21. TREYBAL, R. E. (1980). *Operaciones de Transferencia de Masa*. New York: McGraw-Hill.
22. TUERO, L. (2016). Sistema para la medición de la humedad relativa usando un DSSP. *RIELAC*, 1-14.
23. UGRINOVIC, V., & TELLO, V. (2016). Efecto de la humedad relativa en la viabilidad de huevos de *Neoseiulus* sp. y *Proprioseiopsis iorgius* (Acari: Phytoseiidae) en condiciones de laboratorio. *IDESIA*, 39-45.

ANEXOS

Medición de temperatura de bulbo seco



Medición de temperaturas bulbo húmedo

