



EL VACÍO EN LOS SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN Y AIRE CONDICIONADO

La razón de hacer un alto vacío en los sistemas de enfriamiento, de refrigeración y aire acondicionado, es para eliminar los gases no deseables, principalmente el aire y el vapor de agua (humedad).

El aire como otros gases, en condiciones normales son no-condensables, y por lo general en un sistema de enfriamiento son atrapados en el lado de alta presión, principalmente en el condensador, debido a que el líquido (subenfriado), sella la salida en la parte de abajo, evitando así el paso del aire. Este aire reduce el área efectiva de disipación de calor del condensador, ocasionando una pérdida de capacidad (Btu/h) del sistema).

La presión total de lado de alta, a una temperatura determinada, será la suma de: la presión parcial del refrigerante, más la presión parcial del aire (y no-condensables), (Ley de Dalton: que nos dice que a una temperatura, la presión total de una mezcla de gases., es igual a la suma de las presiones parciales de cada una de sus componentes), por lo tanto, la presión total de descarga es superior a la que debería de ser cuando no existiese aire en el sistema. Esta elevación de presión de descarga, causará otra pérdida adicional de capacidad. Desafortunadamente la reducción en Potencia eléctrica (W) del compresor no disminuye en la misma proporción que la capacidad, la reducción de potencia es en menor proporción, por lo que la eficiencia de operación disminuye (Btu / kW-h.), traduciéndose en aun mayor costo de operación. La pérdida de capacidad es del orden de 3.0 % a 4.0 % por cada 10.0 psi de aumento de presión.

Por otro lado para lograr una carga térmica en particular, será necesario mantener el compresor operando más tiempo, ya que debido a su mayor presión de descarga su capacidad es menor, por lo que su tiempo de enfriamiento será mayor. El costo de la energía por este tiempo adicional de operación, será necesario sumarlo al costo por ineficiencia, y al costo por reducción en área efectiva de transmisión de calor del condensador.

Aun peor, esta situación de elevación de la presión de descarga, por dejar aire o no-condensables en un sistema, nos ocasiona un aumento en la "Relación de Compresión" del compresor, la que a su vez nos causa una disminución en su eficiencia volumétrica, ocasionando un menor bombeo de gas, con su consecuente merma en su capacidad.

La alta presión del gas nos trae consigo una elevada temperatura de descarga, la que deteriora el aceite (disminución de su viscosidad), y es la que quema el plato de válvulas del compresor. A estas elevadas temperaturas, el oxígeno del aire, y la humedad, reaccionan con el aceite creando sustancias orgánicas sólidas. Esta reacción sucede normalmente en el puerto de descarga del plato de válvulas, que es el punto de mayor temperatura del ciclo térmico.



Eliminar en un sistema el aire y gases no-condensables mediante una bomba de vacío, se denomina Desgasificar. Eliminar el “vapor de agua” se denomina Deshidratación. En la industria de la refrigeración y aire acondicionado, la eliminación del aire, mas el vapor de agua o humedad, se denomina **Evacuación**.

El agua es un solvente conocido, se considera un líquido inofensivo, y puede ser un serio dolor de cabeza, sino es manejada adecuadamente. Como sabemos todo el aire que nos rodea contiene agua en forma de vapor. La relación del volumen del agua entre el volumen de aire atmosférico, se mide comúnmente en términos de humedad específica o **Humedad Relativa**.

La humedad puede entrar al sistema de refrigeración ó A/A, por una pequeña abertura, rotura, por prácticas inadecuadas de servicio, etc., o llevadas por el aceite o el refrigerante, o por excesiva temperatura.

El arco eléctrico durante la quemadura de un motor, causa un ambiente oxidante grande, y con la mezcla aceite–refrigerante (y elevada temperatura), se descomponen en agua y ácidos corrosivos, esta humedad será necesario removerla al reparar un sistema y el compresor.

El refrigerante transporta la humedad a través del sistema, hasta que llega a la válvula de expansión donde experimenta una caída de presión, si la presión decrece a un valor que corresponda a la solidificación del agua (a menos de cero grados Celsius), esta se vuelve cristales de hielo presentándose el congelamiento del agua en la válvula, restringiendo el flujo de refrigerante a través de esta, y en esta forma causando también una reducción ó completamente la pérdida de enfriamiento del sistema. Esta restricción causa que actué el control de baja presión, o el control de sobrecarga, apagando al compresor. Cuando el compresor no opera, el hielo en la válvula se derrite, y esta situación se repite sucesivamente, y habrá ciclos de arranques y paros del compresor, los cuales es bien sabido el daño que causan.

Aunque en la válvula de expansión no ocurriese el congelamiento del agua, en el sistema se producen ácidos, sedimentos, oxidación, y corrosión, debidos a la mezcla de vapor de agua, calor excesivo, aceite, y refrigerante, los que lo dañaran seriamente al sistema de enfriamiento. Cuando la humedad, refrigerante, y calor, están presentes, sin duda alguna habrá acidez en el sistema. El calor (o la temperatura), es el catalizador en la reacción química, entre mayor sea la temperatura, la reacción es mas rápida y de mayor proporción. (La reacción química es directamente proporcional a la temperatura) Por ejemplo con R-22 que contiene un cloro en su molécula, entre mayor sea la temperatura, más es el aumento de formación del ácido clorhídrico. Cuando este ácido es llevado a través del sistema, va descomponiendo el aceite, reaccionando y produciendo sedimentos junto con ácidos orgánicos.

Los sedimentos son una mezcla de agua, aceite, y ácido, pueden tomar la forma de sólidos pegajosos, sólidos pastosos, líquidos aceitosos espesos, etc. Deterioran el aceite,

Para más información visite: www.EmersonClimate.com/espanol

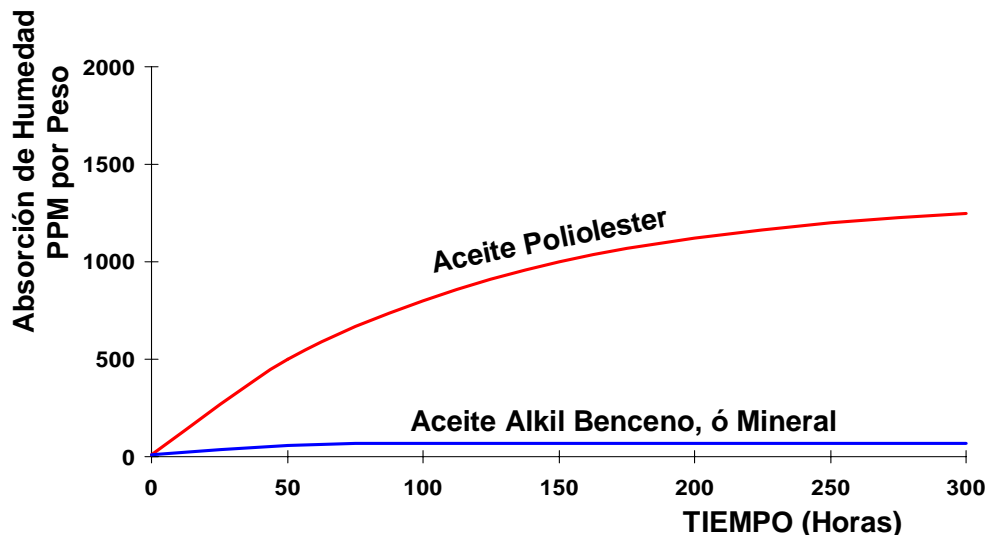


A R T I C U L O S

haciéndole perder su viscosidad, causándole al compresor daños mecánicos muy severos. Tienen a acumularse en el punto más caliente, que suele ser la descarga del cilindro en el plato de válvulas, ocasionado que estas pierdan su asentamiento y no sellen. Al no cerrar las válvulas, el vapor es forzado a pasar por una pequeña hendidura u orificio, pasando a una gran velocidad, creando una fricción, lo que hace elevar la temperatura aun más, en el orden de 500°C. Los sedimentos y la corrosión, causan que los elementos de expansión, los filtros, los deshidratadores, los cedazos, se tapen y funcionen mal. Un punto que se debe de entender es que el aceite de refrigeración tiene una gran afinidad por el vapor de agua y el refrigerante, esta atracción es debida a que la presión de vapor del aceite es muy baja en comparación con la del refrigerante y la del vapor de agua.

Hoy día con el advenimiento de los nuevos refrigerantes HFC, se requiere aceites del tipo Éster para los sistemas de enfriamiento. Las curvas de la Fig. #1, nos muestran el comportamiento de los aceites en relación a su higroscopicidad, o como absorben la humedad v/s el tiempo. Se puede observar que el aceite Poliiolester (**POE**) absorbe bastante la humedad en pocas horas, pues es altamente higroscópico, por lo que se requieren nuevos procedimientos en su manejo, contenedores especiales de metal, ya que los de plástico son permeables a la humedad. No usar POE con un contenido de humedad mayor de 100 PPM (partes por millón). Se tendrá un cuidado extremo en no exponerlo en ambientes húmedos. Se entiende que el valor de 100 PPM se reducirá posteriormente en el sistema en operación, mediante filtros deshidratadores apropiados para POE, con una absorción de humedad máxima y alta filtración, para obtener un límite máximo de humedad en el aceite de **50 PPM**. Cuando el contenido de humedad es alto, como suele suceder en el caso en los aceites POE, existe el fenómeno de hidrólisis en la tuberías y componentes de cobre, en el que este es arrastrado hasta el compresor, donde las partes internas de este se encobran, incluyendo bujes, chumaceras, y cuerpo interno del compresor, causando cambios en los acabados y tolerancias, ocasionando la falla del tren mecánico del compresor (las partes se amarran).

HIGROSCOPICIDAD DE LOS ACEITES POLIOLESTER, MINERAL, Y ALKIL BENCENO, A 20 °C HUMEDAD RELATIVA DE 50%





Una vez que la humedad se encuentre en el sistema de enfriamiento la forma de disminuirla es con la utilización de Filtros Deshidratadores marca **Emerson**. En la Línea de Líquido: Modelos **EK y TD** que son de máxima protección para el compresor y Válvula de Expansión, eliminan los ácidos, la humedad, y las partículas, compatible con los aceites POE, Mineral y alkilbenceno así como con todos los refrigerantes actuales

Y en la Línea de Succión el Modelo **SFD** para la protección del compresor, la limpieza del sistema debida a quemaduras, y reparaciones mayores, de una muy baja caída de presión. Modelo **ASK-HH**, para la retención de sedimentos, ácidos, y humedad y para protección del compresor, de una muy baja caída de presión, y compatibles con los aceites POE, Mineral y Alkilbenceno así como con todos los refrigerantes actuales.

>

<

Por lo tanto la única manera de eliminar de un sistema de enfriamiento, el vapor de agua, el aire, y gases no condensables, es iniciarse mediante un buen procedimiento de Evacuación, con el uso de una bomba de Alto Vacío. Cuando se han formado sedimentos y contaminantes sólidos, se debe proceder a la limpieza mediante el uso de filtros deshidratadores adecuados de mayor tamaño, que remuevan los sólidos y sedimentos, ya que las bombas de alto vacío no están diseñadas para eso. En otras palabras la Evacuación no toma el lugar de los filtros deshidratadores de las líneas de líquido y de succión.

Fig. 2.- TABLA TEMPERATURA-PRESIÓN DEL AGUA

TEMPERATURA DE EBULLICIÓN		PRESIÓN ABSOLUTA	PRESIÓN ABSOLUTA	VACÍO
C	°F	psia	Micrones de Hg.	(Pulgadas de Mercurio Hg.)
100	212	14.696	759,968.0	0.0
96.1	205	12.379	535,000.0	4.92
90.0	194	10.162	535,526.0	9.23
80.0	176	6.866	355,092.0	15.94
70.0	158	4.519	233,680.0	20.72
60.0	140	2.888	149,352.0	24.04
50.0	122	1.788	92,056.0	26.28
40.0	104	1.066	55,118.0	27.75
30.0	86	0.614	31,750.0	28.67
26.7	80	0.491	25,400.0	28.92
24.4	76	0.442	22,860.0	29.02
22.2	72	0.393	20,320.0	29.12
20.6	69	0.344	17,780.0	29.22
17.8	64	0.295	15,240.0	29.32
15.0	59	0.246	12,700.0	29.42
11.7	53	0.196	10,160.0	29.52
7.2	45	0.147	7,620.0	29.62
0	32	0.088	4,572.0	29.74
-6.1	21	0.049	2,540.0	29.82
-15	6	0.0245	1,270.0	29.87
-31.1	-24	0.0049	254.0	29.91
-37.2	-35	0.00245	127.0	29.915
-51.1	-60	0.00049	25.4	29.919
-56.6	-70	0.00024	12.7	29.9195
-67.7	-90	0.000049	2.54	29.9199
		0.00000	00000	29.9200

El vacío Teórico Perfecto es = 29.92 pg Hg. = 0 micrones (μ) = 0 psia



Presión Atmosférica

La atmósfera compuesta de gases (O_2 , N , etc.), su peso sobre la tierra crea la Presión Atmosférica. En un lugar dado la presión atmosférica es relativamente constante. La presión atmosférica al nivel del mar se ha establecido en forma universal de 1.03 kilogramos sobre centímetro cuadrado (=14.7 libras sobre pulgada cuadrada), cuyo equivalente es la presión causada por una columna de mercurio de:

$$759.968.0 \text{ micrones } (\mu)\text{Hg} = 760.0 \text{ milímetros Hg} = 29.92 \text{ pg. Hg}$$

A otras elevaciones mayores del nivel del mar la presión va disminuyendo de acuerdo a la altitud. Por ejemplo a una elevación de 1500 m., la presión es de 0.88 kg/cm^2 a, ó 28.84 pg. de mercurio, ó 12.2 lb. / pg^2 a (psia)

Presión Absoluta.

Es la presión existente arriba del vacío perfecto. Se expresa en kg/cm^2 a ó en lb. / pg^2 a (**psia**), y para propósitos de efectuar una evacuación es conveniente y práctico expresarla en Micrones de mercurio (**Ver Tabla en Fig. 2**)

Presión Manométrica. Un manómetro cuando no esta conectado a un recipiente con presión, está calibrado para medir 0 (cero) psig, O sea un manómetro para refrigerante está calibrado a partir de cero, en sus valores positivos en libras sobre pulgada cuadrada (manométrica) psig. o en kilogramos sobre centímetro cuadrado kg/cm^2 g. Para sus lecturas o valores negativos ó **VACÍO**, está calibrado en pulgadas y milímetros de mercurio (**Ver Tabla en Fig. 2**)

La Presión Absoluta de un recipiente o sistema, es su presión manométrica, más la presión atmosférica del lugar donde se determina. La presión manométrica es relativa de la presión absoluta.

El Micrón

(También Micra), Es una unidad lineal de medida, es la millonésima parte del metro (m), ó también la milésima parte del milímetro (mm.). Se abrevia con la letra griega **Mu (μ)**. Como la Pulgada es 25.4 mm. , será igual a 25400.0 micrones. Es importante mencionar, cuándo se habla de Micrones, se entienden como presión absoluta total, diferente a lo que se entiende de los conceptos Presión Manométrica y Vacío.

El Micrón es una dimensión muy pequeña y por lo tanto usada cuando se desea mucha precisión, lo que no es posible hacer con un manómetro normal (del tipo de Bourdon), que usa la presión atmosférica como punto de referencia, la que constantemente está cambiando durante el día, la presión barométrica cambia con la temperatura ambiente.

Se requiere un instrumento que mida en la ultima pulgada más baja de presión (en el rango 28.9 pg, a 29.92 pg. de Vacío), ver Fig. 2. Por lo que se requiere un manómetro de presión capaz de leer con precisión micrones, y del orden de 28.2 a 29,2 pg de muy alto vacío.



EVACUACIÓN

Un sistema de enfriamiento ya sea nuevo, o que se haya reparado, requiere ser evacuado para eliminar el aire, no condensables, y la humedad.

Dos métodos de evacuación son usados:

A.- El método del muy Alto Vacío

B.- El método de Triple Evacuación.

Se piensa en una gran mayoría de casos, que una bomba de vacío puede succionar partículas líquidas de humedad de un sistema. Esto es incorrecto.

Aun existiendo humedad internamente en un sistema de enfriamiento, existe como líquido y vapor. Lo que realmente sucede ver Fig. 2, se es que la presión del agua se reduce hasta su punto de ebullición a su temperatura correspondiente. Por ejemplo, el agua hierve o vaporiza a 100 °C (212 °F) a la presión atmosférica de 14,7 psia (0 psig). Se requeriría para que toda la humedad o líquido dentro del sistema de enfriamiento se evaporara, que estuviese a 100 °C (212 °F), la cual no es una temperatura normal. Para evaporar (hervir) el agua dentro de un sistema de enfriamiento a temperaturas menores normales, se requeriría reducir la presión. Si se baja en forma significativa toda el agua se puede vaporizar, y entonces, si poderse extraer mediante una bomba de vacío, y así ser expulsada a la atmósfera

Al reducir la presión interna, se reduce la temperatura de ebullición, referirse a la Fig. 2,. Se puede ver por ejemplo si la presión interna se reduce a 1.006 psia (27.75 pg. Hg. de vacío), el agua dentro del sistema hervirá a 40 C (104 F), el sistema deberá estar a esta temperatura ambiente para que la vaporización ocurra. Si ahora la presión interna se baja aún más, digamos a 28.67 pg Hg. de vacío, cualquier humedad en el sistema vaporizará a 30 C (86 F), que es una mejor temperatura ya que no se necesitará darle calor artificialmente.

La diferencia entre 27.75 pg Hg., y 28.67 pg Hg., es muy pequeña para poderse medir en un manómetro normal (Bourdon), Este tipo de manómetro es bueno cuando se requiera una precisión de ± 1.0 pg Hg. de vacío, y es impractico para medidas de precisión de vacío. Y es cuando se requiere un medidor de presión de Micrones.

Como el agua o la humedad requieren calor para evaporarse o hervir, la fuente de calor para la evaporación es la misma humedad, la que parte al evaporarse cede su calor latente y baja su temperatura hasta el punto de fusión 0°C, antes de que termine el proceso de evaporación, el agua restante se transforma en hielo. La misma situación sucede cuando la presión interna se reduce a 29.74 pg Hg. de vacío, que corresponde a 0 C (punto de solidificación del agua), el agua se congela. En estas condiciones de humedad en forma de hielo, ocurre la Sublimación, en que la evaporación es directamente del estado Sólido al Vapor (como sucede con el hielo seco), evidentemente la evaporación es más lenta. Si el sistema se calienta, se puede prevenir que la humedad dentro del sistema se congele. Cuando el factor tiempo es el decisivo, calentando el sistema nos disminuirá el tiempo de evacuación.



Por lo anterior el Manómetro para altos vacíos deberá ser en el que se puedan medir presiones del orden de micrones (rango de 0 a 5000 μ), y que sean tan precisos que puedan leer 1.0 μ . En realidad sin estos instrumentos uno puede olvidarse de proceder a efectuar una evacuación, ya que las lecturas con un manómetro normal no son precisas. En general estos aparatos tienen sensores de calor (o temperatura), en los cuales el elemento sensor genera calor. En la medida que este calor es disipado en su medio interior, tendrá una mayor o menor temperatura la cual es detectada ya sea por un termocople, ó por un termistor.

Los Instrumentos Electrónicos de Medición de Alto Vacío con **Termistores**, los cuales son del tipo de coeficiente negativo, que significa que si la temperatura aumenta, su resistencia eléctrica disminuye, y viceversa. Cuando la humedad y gases se han eliminado del sistema, su presión disminuye, dado que la conductividad térmica del vacío es muy baja o prácticamente nula, la disipación de calor del termistor también disminuye, y su temperatura aumentara. La disipación de calor en el sensor, es inversamente proporcional al vacío existente dentro del sistema. Por lo que su resistencia eléctrica variará de acuerdo a su temperatura. A un alto vacío la resistencia eléctrica del termistor será baja y a un bajo vacío su resistencia eléctrica será alta. Esta variación de resistencia eléctrica se indica en un medidor electrónico calibrado en micrones de mercurio.

Cuando se seleccione un instrumento con sensor tipo **Termocople**, su funcionamiento es similar al instrumento de termistor. Especial cuidado es que los materiales usados en las uniones del termocople, como el hierro, etc., están sujetos a corrosión, y sus indicaciones de medición variarán con el tiempo, por eso es conveniente seleccionarlos con las uniones que sean con metales nobles.

El uso de una **Bomba de Vacío** adecuada es importante, en este artículo se describirá brevemente, y el criterio de su selección. La bomba de pistones o recíprocate debido a su volumen muerto o su holgura entre el pistón y la cabeza, son muy ineficientes, y por lo tanto son incapaces de producir un alto vacío.

Es inaceptable usar un compresor hermético o semihermético, para efectuar el vaco de su propio sistema, ya que además de su ineficiencia, cuando los devanados eléctricos están sujetos a un alto voltaje y se encuentran en un vacío, se produce un arco eléctrico, quemando el motor de inmediato

Una bomba de alto vacío, es de los elementos que vienen primero a la mente, al seleccionar un equipo de vacío. Uno de los errores es seleccionar una bomba grande, por que así se efectuará el vacío más rápidamente, esto es un error. La capacidad de la bomba tiene muy poco que ver con el tiempo de evacuación. Una bomba del tipo rotativo con paletas deslizantes de dos etapas, de 1.0 a 3 pies cúbicos por minuto de desplazamiento, que pueda alcanzar vacíos en el orden de 25 μ es suficiente para cualquier tamaño de sistema. Estas bombas de paletas deslizantes, de dos etapas, tienen la capacidad de producir extremadamente bajas presiones, y son altamente eficientes en succionar vapor de agua



El Flujo de los gases (o vapores) hacia la bomba, no tiene que ver con el tamaño de esta, está determinado por el diámetro del orificio del niple conector al sistema, ó en la válvula del compresor, y por su diferencia de presiones a su entrada y su salida

Para reducir el tiempo de evacuación es mejor colocar dos bombas pequeñas en dos lugares distintos del sistema, en lugar de poner en un solo lugar una del doble de tamaño. También calentado el sistema será menor el tiempo de evacuación.

Método de Alto Vacío

Se evacua a una presión del orden 500 μ ó menor hasta que la humedad, el aire, etc. sean completamente removidos del sistema, el cual se debe mantener sin variación durante 10 min. Finalmente se debe efectuar la siguiente prueba de Presión:

- 1.- Si después de evacuar en el orden de 500 μ , o un poco menor, cerrar la válvula de la bomba de vacío, y aislar el sistema por 5 min., y si la lectura del manómetro electrónico se mantiene debajo de los 500 μ . La evacuación es completa.
- 2.- Si existe una elevación lenta hasta 1500 μ , existe todavía humedad en el sistema (sublimación del hielo), Se abre la válvula de la bomba y se somete nuevamente a la evacuación, hasta 500 μ (volver al punto 1)
- 3.- Si hay una elevación rápida de la presión, significa que existe una fuga en el sistema, y será necesario encontrarla y corregirla. Y volver al punto 1.

En el medio existen diferentes ideas o criterios en relación de fijar la presión mínima en μ de mercurio, hay quien desea o recomienda evacuar a 200 μ , este valor no debe ser considerado, ya que el punto de ebullición de aceite es entre 200 μ y 250 μ . Por lo tanto para poder llegar a este nivel de presión de 200 μ se necesitaría evaporar todo el aceite.

Método de Triple Evacuación

- 1.-Se bombea hasta obtener un vacío de 28 pg Hg.
- 2.- El sistema se carga con refrigerante a 0 psig (14.7 psia)
- 3.- Se vuelve a bombear hasta nuevamente obtener 28 pg Hg.
- 4.- El sistema se vuelve a cargar con refrigerante hasta 0 psig (14.7 psia)
- 5.- Se vuelve a bombear hasta nuevamente obtener 28 pg Hg.
- 6.- El sistema se considera listo para su carga definitiva de refrigerante.

En estos días con el alto costo de los refrigerantes, y las restricciones ambientales, de deterioración del la capa del ozono, y el efecto invernadero, etc. No puede uno arriesgar o adivinar que el sistema esté herméticamente cerrado. Este método nos puede dejar ciertas dudas.



Por lo tanto cualquiera de los dos métodos anteriores que se escoja, al final será necesario y pertinente evacuar el sistema a una presión de 500 μ ., con la bomba aislada del sistema cerrando su válvula (blankoff valve), se deberá mantener esta presión por lo menos durante 10 min. La mayor diferencia entre los métodos del hoy día “de Alto Vacío” y el de “Triple Evacuación” es que con la técnica o método del de Alto Vacío después de efectuarlo, se puede estar completamente seguro de sus resultados.

Alto Vacío es el método de evacuación que se debe usar, que nos dice por seguro, que el sistema de enfriamiento está completamente seco, libre de no condensables, y de fugas.

Ing. Javier Ortega C

26-ago.-05

#