

OPTIMIZACIÓN FINANCIERA DE SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO PARA CUARTOS LIMPIOS

Financial Optimization of Cleanrooms Air Conditioning Systems

RESUMEN

Este artículo analiza los procesos de aire acondicionado para cuartos limpios combinando varias alternativas de diseño, como son el método de enfriamiento convencional con serpentín y el proceso de deshumidificación con materiales desecantes más conocido como adsorción. Se parte de la hipótesis de que la combinación de estos procesos en un diseño de aire acondicionado para espacios limpios, presenta una reducción en los costos iniciales y consumo energético en el ciclo de vida del proyecto. Para validar la hipótesis se realiza un análisis comparativo de cuatro configuraciones de diseño para la aplicación mencionada, desde dos puntos de vista: análisis energético y costo del ciclo de vida. Entre los resultados obtenidos se tienen las especificaciones técnicas de los equipos usados y recomendaciones de diseño.

PALABRAS CLAVES: Aire, Cuarto limpio, Costo del ciclo de vida.

ABSTRACT

This article analyzes cleanroom air conditioning process, combining several design alternatives; such as conventional cooling method with coil and dehumidification process with drying materials adsorption. Based on the hypothesis that when these two processes combine in an air conditioning design for Cleanrooms represents a reduction in initial costs and energy consumption in the life cycle of the project. To validate the hypothesis a comparative analysis has been made regarding four design configurations for the application referred from two points of view: energy analysis and life cycle cost. Among the obtained results there are technical specifications of the equipment used and design recommendations.

KEYWORDS: Air, Cleanrooms. Life cycle cost.

1. INTRODUCCIÓN

Este tipo de espacios emplean instalaciones de tamaño y envergadura enormes, con altos consumos de energía sin mencionar los costos iniciales, las variables como temperatura y humedad, necesitan un control muy riguroso, hay diferentes aplicaciones donde la humedad que se requiere para el espacio es tan baja, de hasta 25%, que con equipos convencionales de enfriamiento no se pueden lograr. La utilización de sistemas de deshumidificación por adsorción con materiales desecantes **es un proceso limpio**, que permite llegar a las condiciones de humedad requeridas. La deshumidificación mixta es el proceso o técnica que involucra dos tipos de deshumidificación estos son deshumidificación por enfriamiento y adsorción. Usados de manera complementaria producen los sistemas más económicos; usar los desecantes para el rango más bajo de humedad relativa y el enfriamiento para las aplicaciones más cercanas a la saturación.

El problema fundamental de la investigación consiste en efectuar un análisis de los procesos de deshumidificación

mixta que emplean sistemas de enfriamiento convencional y sistemas de adsorción con materiales desecantes con el objetivo de optimizar estos diseños energética y económicamente para la aplicación de acondicionamiento de cuartos limpios.

2. DESHUMIDIFICACION

Proceso mediante el cual se remueve vapor de agua presente en el aire atmosférico. La humedad específica es la variable que nos permite conocer cuanta humedad en kg de vapor se ha removido de un flujo de aire. La humedad relativa es la relación entre las presiones parciales del vapor y la presión de saturación del aire a la temperatura de bulbo seco. La temperatura de punto de rocío (dew-point) es la temperatura de saturación a la presión parcial de vapor ($P_v = \Phi P_{sat}$). La falla en un proceso está ligada directamente al control del nivel de la humedad en el ambiente circundante, para esto es vital saber:

1. Qué tipo de procedimiento se debe usar para el acondicionamiento del aire.
2. El tipo de industria.

CARLOS ALBERTO OROZCO HINCAPIÉ, Ingeniero Mecánico, M. Sc., Profesor Titular, Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Tecnológica de Pereira
corozco@utp.edu.co

JUAN CARLOS CASTAÑO SÁNCHEZ, Ingeniero Mecánico, Asistente de Investigación, Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Tecnológica de Pereira
Casancho_2@hotmail.com

Proyecto Colciencias Jóvenes Investigadores 2006, Contrato UTP 5094

3. Cómo elegir el equipo apropiadamente para controlar el ambiente circundante al proceso productivo.
4. Cómo utilizar con eficacia el equipo para controlar la humedad en el área de proceso.

El aire seco se aplica para muchos usos de tipo comercial, y los problemas específicos encontrados pueden ser tan complejos cuanto más bajo sea el nivel de humedad requerida.

Prevención de condensación	T _{bs} (C)	Φ
Soplado e inyección de plástico.	21,1	20%
Preparación de superficies y aplicación de recubrimientos.	26,7	25-30%
Secado de productos		
Secado de resinas plásticas.	26,7	3-15%
Confitado de dulces y chicles.	23,9	35%
Chocolates	32	13%
Laminado de vidrio para asegurar unión entre cristales.	21	15-20%
Prevención contra la corrosión.		
Ensamblaje de misiles	26,7	25%
Transistores.	22-24	25-40%
Transformadores	32	10-25%
Farmacéutica (empaquete penicilina)	26,7	5-15%

2.1 Métodos de Deshumidificación. Para el control de la humedad existen tres métodos: por compresión del aire, por disminución de la temperatura del aire y por utilización de materiales desecantes. El método **por compresión del aire**, práctico para pequeños volúmenes de aire. Al comprimir isotérmicamente el aire su dew-point disminuye, por lo tanto, condensará y permitirá separar la humedad del aire. **Por disminución de la temperatura del aire**, aire acondicionado convencional, este puede alcanzar el punto de rocío y así separar la humedad contenida en el aire, usado en aire acondicionado hasta un 40% de rh. **Por utilización de materiales desecantes**, esta es la forma más simple y directa de secar el aire, es decir, poniendo en contacto directo el flujo de aire con materiales que reaccionen o adsorban la humedad del mismo, se considera que es un **proceso opuesto a un enfriamiento evaporativo**.

2.2 Proceso de deshumidificación con desecantes. Un desecante es una sustancia química que tiene una gran afinidad por la humedad, es decir, es capaz de extraer o liberar vapor de agua del aire, en cantidades relativamente grandes con relación a su peso y volumen. El proceso físico que permite la retención o liberación de la humedad es la diferencia en la presión de vapor entre la superficie del desecante y el aire ambiente. Los desecantes pueden ser clasificados como adsorbentes, las cuales adsorben la humedad sin experimentar cambios químicos o físicos, o absorbentes las cuales absorben la humedad acompañado por cambios físicos o químicos. Muchas empresas en la actualidad ofrecen el método de deshumidificación mediante utilización de materiales

desecantes como Bry-Air, Kathabar y Munster entre otros.

2.3 Deshumidificación mixta. El proceso que involucra dos tipos de deshumidificación: **por enfriamiento convencional y con materiales desecantes**, **Figura 1**, enfriamiento para aire externo y los desecantes para el rango más bajo de humedad relativa.

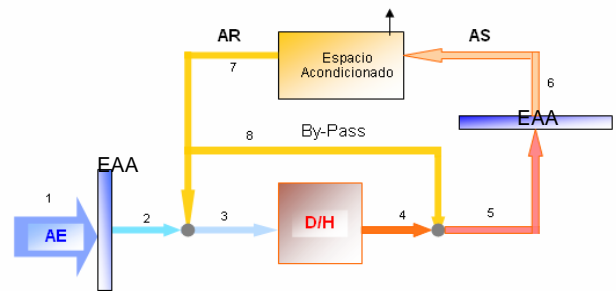


Figura 1. Deshumidificación ciclo mixto. EAA= Equipo de Aire acondicionado. D/H= Deshumidificador por desecante. AE= aire externo. AR= Aire de Retorno. AS= aire de suministro.

- En la figura 1, se aprecian los siguientes procesos.
- 1-2 Pre-enfriamiento con equipo convencional.
 - 2-7 Mezcla
 - 3-4 Deshumidificación con material desecante (Proceso de adsorción)
 - 4-7 Mezcla
 - 5-6 Post-enfriamiento.
 - 6-7 Aire al cuarto.

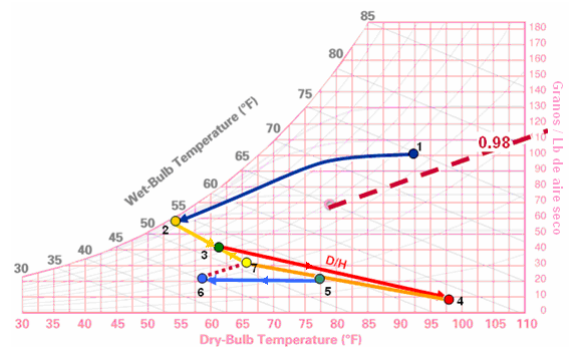


Figura 2. Representación en la carta psicrométrica del Ciclo Mixto de Deshumidificación.

Esta mezcla de aire se hace pasar por el equipo deshumidificador con sales desecantes (sistema de adsorción) que para razones prácticas lo llamamos D/H. Este deshumecta el aire a valores de humedad específica de hasta 2 granos/lb aire seco, una humedad muy baja que no se lograría con un equipo convencional de enfriamiento. El aire sale del D/H con una temperatura muy alta del orden de hasta unos 95 °F temperatura también demasiado alta, es por esta razón que se debe

hacer un post-enfriamiento al aire, antes de inyectarlo en el cuarto limpio.

3. DISEÑO DE UN CUARTO LIMPIO.

Para diseñar sistemas de aire acondicionado para cuartos limpios, se deben tener en cuenta los siguientes aspectos generales:

- A. Identificar el tipo de industria o aplicación donde se va a realizar el proyecto.
- B. Definir el propósito del proyecto (prevención de condensación, estancamiento de material, etc)
- C. Identificar según el numeral 1, las condiciones internas de temperatura y humedad del espacio.
- D. Utilizar datos de temperatura de bulbo seco y humedad relativa o bulbo húmedo del Servicio Meteorológico local y diseñar para las condiciones más extremas que se puedan presentar en un periodo no menor a 24 horas o en la referencia [2] pagina 81 y [7] se encuentran Tablas para este propósito.
- E. Establecer niveles de control y tolerancias.
- F. Realizar un proceso exhaustivo para el cálculo de cargas de calor y humedad internas y externas.
- G. Condiciones de espacio (área y volumen)
- H. Diseñar aplicando proceso de deshumidificación mixta.
- I. Seleccionar los equipos y componentes.

3.1 Alternativas de diseño de Cuartos Limpios.

El ejercicio consiste en configurar cuatro alternativas de diseño para la misma aplicación para cada caso y hacer un estimativo del consumo energético y valor presente neto del proyecto, con el objetivo de optimizar el diseño, eligiendo la mejor alternativa.

1. Acondicionamiento con equipo deshumidificador y equipo de enfriamiento en la etapa de post-enfriamiento.
2. Acondicionamiento con deshumidificador, post-enfriamiento, y pre-enfriamiento.
3. Proceso numeral 2, con la adición de rueda recuperadora para el aire de reposición.
4. Proceso numeral 3 con adición de rueda recuperadora en la reactivación del deshumidificador.

3.2 Ejercicio de aplicación. La planta necesita contar con un sistema de aire acondicionado que cumpla con los requisitos de humedad y temperatura para la producción del caramelo, que eviten un atascamiento de la maquina empacadora, debido a que si hay una humedad muy alta en el ambiente, la mezcla de caramelo no fluirá correctamente por las bandas transportadoras de la maquina empacadora provocando atascamiento.. En la tabla 1, se presentan las variables a tener en cuenta para el diseño. El cculo de cargas térmicas se hace con el método propuesto en la referencia^[1], la simulación de los diferentes casos planteados a continuación se hacen apoyados en el software "EQUIPMENT SELECTOR", un software proporcionado por la empresa BRY-AIR ,

Condiciones de diseño	
rea	62,62' x 185,255' x 13,124'
Altura sobre el mar	0 ft
Condición exterior de diseño	70°F db; 100 Granos/lb
Condición interna	70°F db; 27 Granos/lb
Personas Trabajando	30
Aire requerido para reposición	2500 cfm valor constante
Aire disponible para reposición	95°F db; 130 Granos/lb
Puertas	(6' x 8') 3 aberturas / hora
Tipo de Construcción	Paredes de ladrillo, Techo con Drywall prueba de vapor y suelo de concreto

Tabla 1. Condiciones para el diseño de un caso particular. [1]

Para selección de los equipos deshumidificadores y accesorios del sistema. Además este software brinda datos específicos del equipo que se debe usar en la instalación, un análisis completo de las cargas térmicas de espacio acondicionado y los precios de cada dispositivo usado.

3.3 Sistema 1. Deshumidificación y post-enfriamiento. Esta disposición consiste en deshumidificar la mezcla del aire de renovación y el aire de retorno, con deshumidificador químico y luego hacer un post-enfriamiento sensible para inyectar al espacio.

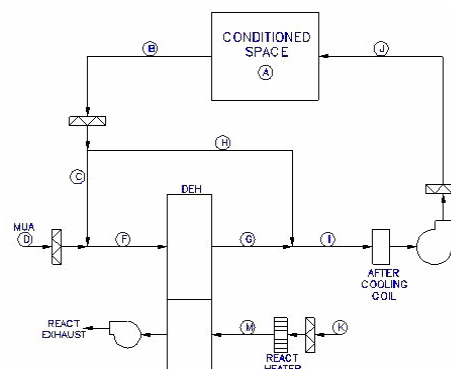


Figura 3. Diagrama de flujo sistema 1. [2]

En el sistema 1, el equipo deshumidificador maneja alrededor del 50% del aire del proceso, provocando con esto que el equipo a seleccionar fuera el más costoso debido a que a mayor cantidad de flujo a deshumidificar, es más robusto en sus dimensiones.

3.4 Sistema2. Pre-enfriamiento, Deshumidificación y post-enfriamiento. Este sistema se diferencia del anterior por que se adiciona al proceso un equipo de enfriamiento tipo paquete para tratar el aire externo antes de ser mezclado.

El objetivo es disminuir la humedad que trae el aire externo, con el fin de que el equipo deshumidificador tenga que realizar menos trabajo para reducir la humedad del aire, disminuyendo el consumo de energía,

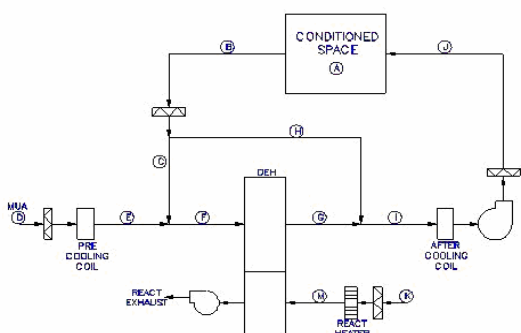


Figura 4. Diagrama de flujo sistema 2. [2]

3.5 Sistema 3. Pre-enfriamiento, Deshumidificación, post-enfriamiento y recuperación de calor.

Este sistema tiene los mismos elementos del anterior, la diferencia radica en que se pretende hacer uso de una rueda recuperadora de calor como elemento de ahorro de energía, el proceso consiste en aprovechar la capacidad energética que tiene el aire que se desecha al ambiente, este aire lleva una temperatura y humedad baja, sale a 70° F y 27 Gr /lb, el aire exterior de renovación entra a 95° F y 131 Gr/lb. Cuando estas dos corrientes de aire atraviesan la rueda de entalpía, se produce un intercambio de energía y como resultado la corriente de aire externo baja su humedad y temperatura.

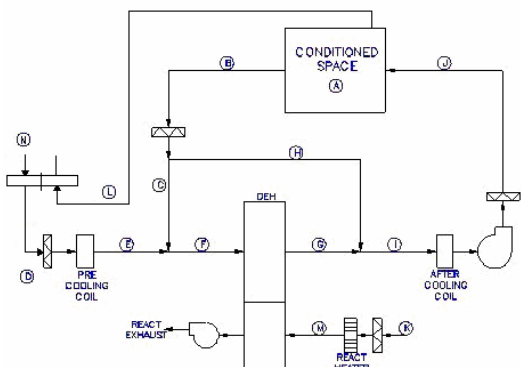


Figura 5. Diagrama de flujo sistema 3. [2]

El propósito de disminuir la temperatura y humedad, es para que el equipo de pre-enfriamiento, disminuya su capacidad y demanda energética, bajando su costo inicial y consumo de energía en la operación. La rueda que se elige para la simulación del sistema 3, tiene una transferencia de energía del 75% de eficiencia.

3.6 Sistema 4. Usando Dos Ruedas Recuperadoras.

La configuración de esta última alternativa es quizás la más óptima de todas las propuestas en este documento, desde el punto de vista energético y económico. Este último sistema, pretende usar una de estas ruedas recuperadoras de energía para aprovechar el desecho de aire caliente que se produce en la reactivación del equipo deshumidificador. De la

referencia [8], se conoce que el aire que sale del deshumidificador esta a una temperatura muy elevada y esto se desecha al ambiente aproximadamente a 198°F es muy alta comparando con la temperatura del ambiente (95°F). Este delta de temperatura se puede aprovechar para precalentar el aire antes de entrar al reactivador.

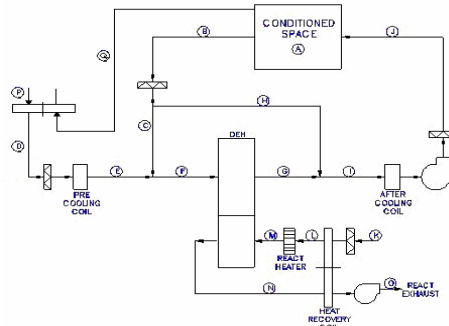


Figura 6. Diagrama de flujo sistema 4. [2]

El precalentamiento del aire tiene un efecto muy significativo sobre el consumo de energía en la reactivación.

Resultados. En la tabla 2, se presenta un resumen de los resultados obtenidos en la simulación.

Alternativas	S1	S2	S3	S4
Caudal en el D/H [cfm]	17143	9286	9286	9286
Energía Reactivación en D/H [KW]	361.4	195.7	195.7	130.2
Pre-enfriamiento [Ton] [KW]	N/A	25 21,88	6 5.75	6 5.75
Post-enfriamiento [Ton] [KW]	80 75,69	50 45,40	50 45,39	50 45,39
Energía del ventilador de impulsión [KW]	28.28	28.28	28.28	28.28
Energía motor rueda entalpica [KW]	0	0	0,36	0,36
Total KW consumidos	465	291	275,58	210

Tabla 2. Resumen de resultados de las alternativas. N/A= No aplica

4. ANÁLISIS FINANCIERO DE ALTERNATIVAS TÉCNICAS

La evaluación de proyectos por medio de métodos Financieros es una herramienta de gran utilidad para la toma de decisiones por parte de los administradores, ya que un análisis que se anticipe al futuro puede evitar posibles desviaciones y problemas en el largo plazo. Dadas las cuatro opciones a analizar, se tendrán las siguientes consideraciones para todas:

- La inversión inicial será del 30% aportes propios de su costo total y el 70% restante será financiado mediante un crédito bancario que será amortizado en 48 cuotas mensuales.

- La tasa de interés del crédito se estima a partir de una tasa de interés efectivo anual de 28.32%.
- Los costos de energía consumida por parte de los equipos y los de mantenimiento tienen un valor dado para su primer año de operación, y para los siguientes, sufren un aumento porcentual.
- El incremento considerado para los costos de operación y mantenimiento serán iguales a la inflación, que en este caso se considera de 5.56% para toda la vida útil del equipo.
- La vida útil de los equipos será de 15 años.
- Se considera un valor de salvamento igual a cero.

4.1 COSTOS INDIVIDUALES

Para todos lo sistemas, se aplica la tabla 3.

Energía eléctrica \$KW-h	200
Tiempo de operación (horas -Dia)	16
Precio del dolar consultado el 28-08-207 pesos	2114.15

Tabla 3.

4.1.1 Costo inicial. Este valor es tomado de las tablas de reporte de ingeniería, obtenidas por el software EQUIPMENT SELECTOR, en la referencia [2]

Costo total inicial del proyecto	
Sistema 1	\$ 438,648,070
Sistema 2	\$ 326,680,572
Sistema 3	\$ 349,513,392
Sistema 4	\$ 382,227,749

Tabla 4 Costos iniciales de las alternativas en pesos

4.1.2 Costo de mantenimiento. El costo de mantenimiento y refacciones se asume como el 4% de la inversión inicial.

4.1.3 Consumo de energía. Recogiendo los datos relacionados con el consumo de energía, en las tablas 3 y 4, se tiene lo siguiente:

Costo del primer mes de energía (352 horas) en pesos	
Sistema 1	\$ 32,764,418
Sistema 2	\$ 20,510,999
Sistema 3	\$ 19,401,269
Sistema 4	\$ 14,787,253

Tabla 5. Costo del consumo de energía equivalente a un mes.

5. COSTO DEL CICLO DE VIDA.

Se calculan los costos acorde con el Valor Presente Neto de cada alternativa y determinar si una de las alternativas cumple con el objetivo básico financiero, minimizar u optimizar la inversión (VPN_{min}). Dicho concepto se aplica y toma de la referencia [6], aplicado en el análisis ciclo de vida de procesos de enfriamiento. Sera entonces el VPN la suma de los gastos

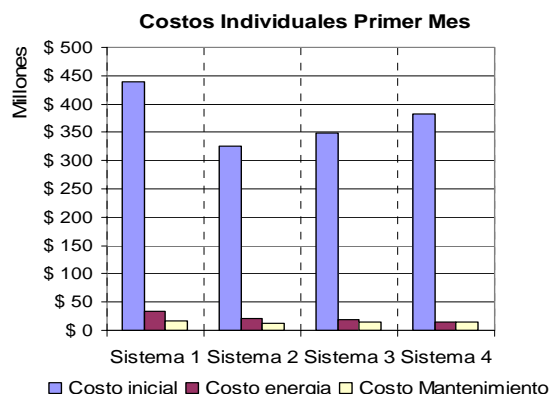


Figura 7. Resumen de Costos individuales del primer año

Individuales multiplicados por el factor que convierte el este valor en un valor presente esto es:

$$VPN = \alpha \cdot I I + R_1 \cdot E_1 + R_2 \cdot E_2 + A \cdot E_3 \quad EC. 1$$

$$E_1 = PWF (i_e, i_p, n) \quad EC.2$$

$$E_2 = PWF (i_m, i_p, n) \quad EC.3$$

$$E_3 = PWF (i, i_p, m) \quad EC.4$$

Donde los costos individuales serán:

α : 0,3

II: Inversión Inicial

R₁: Costo mensual de energía

R₂: Costo mensual de operación y mantenimiento

El factor económico que convierte los flujos de caja en valore presente es el siguiente y está en función de las siguientes variables:

$$PWF (i_e, i_p, n) = \frac{1}{i_e - i_p} \left[\frac{(1 + i_e)^n}{(1 + i_p)^n} - 1 \right] \text{ si } i_p \neq i_e \quad EC. 5$$

i_e : Incremento costo mensual de energía.

i_{en} : Incremento costo anual de energía

Con la siguiente expresión se calcula el incremento mensual: $i_{en} = [(1 + i_e)^{12} - 1]$ EC. 6

donde: $i_e = [(1 + i_{en})^{1/12} - 1]$ EC.7

Para un $i_{en} = 0,11$ y despejando en la ecuación 7 $i_e = 0,008735$ (0,873%) mensual

Ahora llámese:

i_m : Incremento costo mensual de operación y mantenimiento

i_{mn} : Incremento costo anual de operación y mantenimiento

Usando la ecuación 7 para los incrementos mensuales y anuales como en el paso anterior se tiene que para un $i_{mn} = 0,1$ anual el $i_m = 0,008$ (0,82% mensual). La perdida del poder adquisitivo del dinero o devaluación también se tiene en cuenta en este proyecto y se define de la siguiente manera:

i_{pn} : Devaluación, o reevaluación valor anual o perdida del poder adquisitivo del dinero (IPC) $i_{pn} = 5.56\%$

i_p : Devaluación, o reevaluación valor mensual

De la ecuación 7: $i_p = [(1 + i_n)^{1/2} - 1]$

Por lo tanto $i_p = 0,004654$

n : Vida útil del proyecto 15 años (180 meses)

m : Cuotas mensuales del préstamo Bancario $m=48$

i_n : Interés Nominal Bancario $i_n = 20\%$ anual

De la ecuación 7:

i : Interés Nominal Bancario $i = 0,01530947$ mensual (1,53%)

A : Valor de la cuota mensual del préstamo a amortizar, definido como:

$$A = \frac{(1 - \alpha) \cdot I \cdot I}{PWF(i, 0, m)} \quad \text{EC 8.}$$

6. VPN DE LAS ALTERNATIVAS.

Con las ecuaciones (2), (3), (4), (5), (8) y las tablas 4 y 5 se tienen los siguientes valores:

$$E_1 = PWF(i_e, i_p, n) = 411,34$$

$$E_2 = PWF(i_m, i_p, n) = 378,58$$

$$E_3 = PWF(i, i_p, m) = 69,25$$

Sistema 1

$\alpha II = \$ 131.594.421$
 Energía = \$ 13.477.212.827
 Man/to = \$ 6.642.532.394
 Deuda = \$ 303.198.20
VPN_{1,2} = \$ 20.554.537.848

Sistema 2

\$ 98.004.172
 \$ 8.436.929.929
 \$ 4.946.986.959
 \$ 225.805.082
\$13.707.726.142

Sistema 3

$\alpha II = \$ 104.854.018$
 Energía = \$ 7.980.457.075
 Man/to = \$ 6.642.532.394
 Deuda = \$ 241.587.370
VPN_{3,4} = \$ 14.969.430.856

Sistema 4

\$ 114.668.325
 \$ 6.082.542.220
 \$ 5.788.148.582
 \$ 264.199.881
\$ 12.249.559.009

Representando los VPN de cada alternativa analizada, en un grafico de barras (Figura 8), se puede ver claramente cual sistema analizado es más económico.

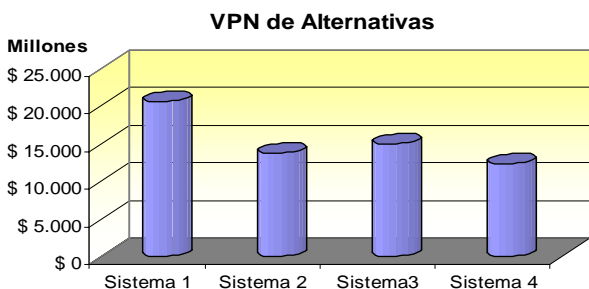


Figura 8. Valor Presente Neto de las alternativas propuestas.

7. CONCLUSIONES

Sistema 1: El equipo deshumidificador maneja alrededor del 50% del aire del proceso, haciendo el sistema con mayores costos iniciales debido a que maneja una mayor cantidad de flujo a deshumidificar.

Sistema 2: El cambio más notorio de todas las alternativas se presenta en este diseño, la adición del equipo de enfriamiento para deshumidificar el aire de reposición es el mayor acierto, presenta una reducción del orden de 38% consumo total comparado con el

sistema 1. Se nota que el sistema 2 con respecto al sistema 1, disminuye el consumo en alrededor del 46% y la capacidad frigorífica en 30 TR.

Sistema 3: La dicción de rueda recuperadora también es un acierto en el ahorro energético, el sistema reduce alrededor del 6% del consumo total de KW del sistema, comprado con el sistema 2.

Sistema 4. Es el sistema más económico y ahorrador de los sistemas propuestos, pero es muy preciso en capacidad, puede provocar inconvenientes cuando aumente las cargas térmicas del espacio por aumento de personal, producto y ampliación en las instalaciones. Utilizando un intercambiador de calor de flujo cruzado de tipo rotacional, para climas calidos y húmedos, es posible intercambiar calor y humedad especifica, utilizando la baja temperatura y humedad especifica de aire de exhosto.

8. BIBLIOGRAFÍA

[1] BRY-AIR, Inc. The Calculating The Various Moistured Loads. [en línea]. Sunbury, Ohio, USA. s.I., s.f. [citado en 2007-10-21]. Disponible en: <http://www.bry-air.com/tech-center/engineering/moisture-loads/default.html>

[2] BRY-AIR, Inc. Equipment Selector Program. The Choice For Desiccant Dehumidification. [en línea]. s.I., s.f. [citado en 2007-10-12]. Disponible en: <http://mail.bry-air.com/Concept/CreateDesign?init=y>

[3] TARQUIN, ANTHONY J. BLANK LELAND T. Ingeniería Económica. 3ª ed. Colombia: Mcgraw-Hill Companies Inc., 1991. Capitulo 12.

[4] GESTIOPOLIS. Evaluacion de alternativas de Inversion. [en línea]. s.I.,s.f.[citado en 2007-08-5]. Disponible en: <http://gestiopolis.com/canales/financiera/articulos/23/vpnpvni.htm>

[5] ACEVEDO P., ELIANA. Fundamentos de Ingeniería Económica. Pereira, Colombia: Notas de Clase UTP II Semestre de 2007.

[6] OROZCO H., CARLOS A. "Análisis del Ciclo de Vida de Sistemas de producción de Frió: Refrigeración y Aire Acondicionado". SIENTIA ET TECHNICA N°4. Pereira, Colombia: Publicaciones, UTP, Octubre 1996, p 113-119.

[7] OROZCO H., CARLOS A. Memorias Seminario internacional de proyectos de aire acondicionado. Enfoque En Calidad Del Aire. Pereira, Colombia: Publicaciones, UTP, septiembre de 1999. p 69-76.

[8] Clean Room Technology. [en línea]. s.I., s.f. [citado en 2007-04-12] Disponible en: http://www.festo.com/INetDomino/files_01/Cleanroom_Technology_Handbook.pdf

[9] BOTERO Camilo. I.M. M.Sc Ingeniería Térmica. Climatización en cuartos limpios. Laboratorios Farmacéuticos. Memorias seminario de cuartos limpios. Cali junio de 2005.

[10] W., WHYTE. Cleanroom Technology. Fundamentals of Desing, Testing and Operation. England: Jhon Wiley & sons, Ltda, Chapter 3, 2001, p 21-30.

[11] BRY-AIR, Inc. Determining Moisture Loads or Latent Loads. [en línea]. Sunbury, Ohio, USA. s.I., s.f. [citado en 2007-10-12]. Disponible en: <http://www.bry-air.com/tech-center/resources/moisture-loads>