

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la  
Producción**

**“MEJORAMIENTO DE LA PRODUCTIVIDAD DE UNA GRANJA  
PARA CRIANZA DE POLLOS”**

**TESIS DE GRADO**

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO MECANICO**

Presentado por:

**GUILLERMO KAIN GUEDES KUONQUÍ**

**GUAYAQUIL – ECUADOR**

**AÑO: 2005**

## **AGRADECIMIENTO**

A todos quienes contribuyeron en este proyecto, especialmente al personal técnico de Finaves S. A. por su decidido apoyo y arduo trabajo.

## DEDICATORIA

A MI ESPOSA,  
MIS PADRES Y  
MIS HERMANOS.

## **TRIBUNAL DE GRADUACIÓN**

---

Ing. Eduardo Rivadeneira P.  
DECANO DE LA FIMCP  
PRESIDENTE

---

Ing. Ignacio Wiesner F.  
DIRECTOR DE TESIS

---

Ing. Eduardo Orcés P.  
VOCAL

---

Ing. Manuel Helguero G.  
VOCAL

## **RESUMEN**

El presente trabajo busca mejorar la productividad en una granja de crianza de pollos ubicada en la zona costera de la provincia del Guayas.

Para conseguir el objetivo, se investiga y describe los aspectos fundamentales del proceso de crianza de pollos. Se determinó que los parámetros de control más importantes son la conversión alimenticia, densidad de población e índice de mortalidad. Los factores que más inciden en los resultados son la temperatura, humedad y calidad del aire. Mejorando estos factores se puede mejorar la productividad de la granja.

Antes de la implantación del proyecto, se tenía una temperatura de 32°C, un índice de mortalidad de 9.8%, un peso promedio de 2.16 kg por pollo y una conversión alimenticia de 2.16, trabajando a una densidad de población máxima de 9 pollos por metro cuadrado. Estos parámetros son los que se busca mejorar con la implantación de un sistema que permita bajar la temperatura del galpón.

Una vez definido el problema a resolver, esto es, bajar la temperatura del galpón, se analizan las alternativas para solucionarlo, tomando en consideración todos los factores y condiciones actuales de la granja.

Escogido el sistema, se lleva a cabo la implantación, para lo cual se requiere información detallada de la granja y los galpones, de tal forma que se dimensionen correctamente los sistemas a instalar.

Se pudo bajar la temperatura a 27.9°C, con ello se logró subir la densidad de población de 9 a 12 pollos por metro cuadrado, la mortalidad disminuyó de 9.8% a 5.4%, el peso promedio mejoró de 2.16 a 2.29 kg, y la combinación de estas mejoras hizo bajar la conversión alimenticia, el principal índice de productividad, de 2.16 a 1.87.

Se evaluó económicamente el proyecto, resultando en un flujo de caja con un valor actual neto positivo de US\$ 18,110.62 y una tasa de retorno de la inversión de 437% para un período de un año.

## **ABREVIATURAS**

Amb. Cont.	Ambiente controlado
C. A.	Conversión alimenticia
Mín.	Mínimo
Máx.	Máximo
Temp.	Temperatura
H. R.	Humedad relativa

## SIMBOLOGIA

USD, US\$	dólares de los Estados Unidos de Norteamérica
C, °C	grados centígrados
F, °F	grados fahrenheit
g	gramos
kg	kilogramos
m	metros
m <sup>2</sup>	metros cuadrados
m <sup>3</sup>	metros cúbicos
psi	libras por pulgada cuadrada
cfm	pies cúbicos por minuto
HP	caballos de fuerza
RPM	revoluciones por minuto
ft	pies
ft <sup>2</sup> , sqft	pies cuadrados
fpm, ft/min	pies por minuto
m <sup>3</sup> /h	metros cúbicos por hora
s	segundos
lbm	libras-masa
gpm	galones por minuto
in.WG	pulgadas de agua (presión)
ppm	partes por millón



## Capitulo 1

En el área donde actualmente operan las granjas avícolas, se presentan dos estados climáticos totalmente diferenciados durante el año. Durante la estación de verano, se cuenta con viento y temperaturas relativamente bajas durante buena parte del día, lo que ayuda a mejorar la calidad del aire dentro de los galpones, aunque sin alcanzar los requerimientos óptimos para las aves.

Durante la estación invernal, se tiene altas temperaturas, y prácticamente no hay viento, lo que obliga a manejar menor densidad de aves e incrementa la mortandad de las mismas, principalmente en las últimas semanas de crianza.

En ambas estaciones, principalmente en invierno, la explotación no logra su máxima productividad. Para alcanzarla, debe recurrirse a medios adicionales a la ventilación natural para mejorar la temperatura y calidad del aire.

Para mejorar la temperatura y calidad del aire hay varias alternativas. Se cuenta con varias empresas proveedoras de equipos con experiencia en la implantación de estas aplicaciones en países de vanguardia en la explotación avícola. Todas se basan en principios de ventilación y acondicionamiento del aire.

El proceso de crianza comienza con la recepción de los pollos de un día en el galpón previamente preparado. Antes de la recepción debe determinarse la cantidad de pollos por unidad de área que se manejará, dependiendo fundamentalmente de las condiciones climáticas.

Durante el crecimiento de los pollos, se debe cuidar algunos puntos básicos cuyos parámetros de control varían de acuerdo a la edad, tales como: temperatura adecuada, calidad del aire, iluminación, abastecimiento de agua y alimento y prevención de enfermedades. Una vez concluido el proceso de engorde, el pollo está listo para su comercialización que comprende el retiro del pollo de la granja, proceso de faenamiento, empaque y venta.

## **1.2 Parámetros de control de la granja**

### **Conversión alimenticia**

La productividad de una granja de crianza de pollos se evalúa a través de varios parámetros, uno de ellos es el peso promedio final obtenido por cada pollo. Más que un índice de productividad, este parámetro es un índice de producción, ya que no tiene asociado el aprovechamiento de un recurso.

El principal recurso utilizado en la crianza de pollos es el alimento balanceado, el cual constituye un 65% del costo total de producción. De ahí que se haya tomado a la conversión alimenticia como el principal parámetro para evaluar un lote de producción de pollos.

La conversión alimenticia se define como la razón entre la cantidad total de alimento consumida y la cantidad total de carne producida, ambas medidas en las mismas unidades. La conversión alimenticia no tiene unidad de medida, dado que es una razón entre magnitudes de igual unidad de medida.

En lenguaje común, se puede decir que la conversión alimenticia es la cantidad de kilogramos de alimento balanceado que se necesita para producir un kilogramo de carne de pollo.

Por lo antes expuesto, podemos deducir que mientras menor sea la conversión alimenticia, mayor es la eficiencia obtenida en el lote de producción.

Para obtener una conversión alimenticia baja, es decir, eficiente, se deben conjugar varios factores fundamentales:

- Baja mortalidad
- Alto peso final del pollo
- Bajo consumo de alimento balanceado

La mortalidad es sin lugar a dudas el peor enemigo de la conversión alimenticia, puesto que cada pollo muerto implica menos cantidad de kilogramos producidos. A esto debe sumarse el hecho que el alimento consumido por los pollos que mueren durante el ciclo de producción si debe sumarse al final del lote para determinar la conversión alimenticia, de ahí que una alta mortalidad, con seguridad llevará el lote de producción a obtener una alta conversión alimenticia.

Cualquier cosa que el productor avícola pueda hacer por disminuir la mortalidad, mejorará su índice de conversión alimenticia y por ende, su beneficio económico.

## **Densidad**

La densidad se define como el número de pollos alojados por unidad de área. En este estudio, se utilizará como unidad de área el metro cuadrado, por tanto la densidad se expresará en pollos por metro cuadrado. Un término relacionado directamente con la densidad es la biomasa por unidad de área, en este caso medida en kilogramos por metro cuadrado. Usualmente este término es el objetivo a partir del cual se determina la densidad.

La densidad tiene una influencia directa en el desarrollo del pollo y su resultado final en términos de calidad y uniformidad. Una sobre-densidad aumenta la presión ambiental sobre el pollo comprometiendo su productividad y rendimiento económico. Un incremento en la densidad también afecta otros factores como el abastecimiento de agua y alimento.

La densidad depende de los siguientes factores:

- Peso final requerido por pollo
- Clima y estación
- Tipo y/o sistema de galpón y equipos

A continuación se presenta un estándar que puede servir como referencia para el manejo de la densidad, recomendado por el Ministerio y Departamentos de Agricultura del Reino Unido. Este estándar se ha definido para obtener una biomasa de 34.22 kg/m<sup>2</sup>.

**TABLA 1.**  
**DENSIDAD RECOMENDADA SEGÚN EL PESO CORPORAL**

<b>Peso corporal (kg)</b>	<b>Pollos por m<sup>2</sup></b>
1.0	34.2
1.4	24.4
1.8	19.0
2.0	17.1
2.2	15.6
2.6	13.2
3.0	11.4

3.4	10.0
3.8	9.0

En climas cálidos, la densidad dependerá de la temperatura ambiental, humedad relativa y el tipo de sistema de ventilación o enfriamiento del galpón.

Si se cuenta con un efectivo sistema de enfriamiento y ventilación, la biomasa puede reducirse a 30 kg/m<sup>2</sup>. En galpones abiertos de ventilación natural, la densidad deberá ser de 20 a 25 kg/m<sup>2</sup> como máximo. En los meses de más alta temperatura o cuando se requiera pesos corporales de más de 3 kg, la densidad no deberá exceder de 16 a 18 kg/m<sup>2</sup>.

## Temperatura

Al inicio del ciclo de producción, la temperatura requerida por los pollos es mayor que al final del ciclo. Un mal manejo de la temperatura trae como consecuencia un bajo rendimiento del lote de producción.

A continuación se muestra una tabla con las temperaturas recomendadas para crianza de pollos:

**TABLA 2.**

### TEMPERATURA RECOMENDADA DE ACUERDO A LA EDAD DEL POLLO

Edad (días)	Temp. (C)
<i>D/O</i>	29
3	28
6	27

9	26
12	25
15	24
18	23
21	22
24	21
Más de 26	20

La temperatura es una variable que se vuelve más crítica al final del ciclo de producción, es decir, cuando el pollo pasa de los 35 días de edad. En climas cálidos, el estrés por calor y su efecto sobre la tasa de crecimiento y la mortalidad suele ser un problema. Los efectos del estrés por calor pueden ser disminuidos alterando el ambiente para reducir la temperatura experimentada por el ave.

La temperatura corporal normal en un pollo de engorde es de 41 C. Cuando la temperatura ambiental excede 35 C, el pollo empieza a sentir estrés por calor. Mientras mayor sea el tiempo de exposición a altas temperaturas, mayor será el estrés y sus efectos sobre las aves.

Los pollos regulan su temperatura corporal de dos formas, una por pérdida de calor por convección y radiación hacia el ambiente, y la otra forma es evaporando agua a través de la respiración.

Dentro de un rango de temperatura ambiental de 13 a 25 C, la pérdida de calor se da principalmente a través de radiación y convección. Cuando la temperatura alcanza los 30 C, la mayor cantidad de calor se pierde a través de evaporación en la respiración, notándose un jadeo en el pollo.

El jadeo ayuda al pollo a perder calor por evaporación. Cuando es muy larga la exposición a altas temperaturas o la humedad del ambiente es muy alta, el jadeo resulta insuficiente para controlar la temperatura corporal y el ave experimenta estrés por calor. Bajo esta condición, la temperatura rectal del ave se eleva,

aumenta el ritmo cardiaco y metabólico, además que disminuye la oxigenación de la sangre.

El impacto fisiológico inducido por estas reacciones puede aumentar la mortalidad de las aves hasta el punto de causar una pérdida económica en el lote producción.

## **Humedad**

La humedad relativa del ambiente en que se desarrollan los pollos, juega un rol importante en el rendimiento del lote de producción. La humedad relativa está ligada a la sensación de calor que perciben las aves. En términos sencillos, a una misma temperatura, por ejemplo 28 C, el contar con mayor humedad relativa hace que las aves tengan una percepción de temperatura más alta.

## **Calidad del aire**

Los pollos durante su vida, consumen oxígeno y desechan gases. La combustión en calefactores para pollitos también contribuye a desechar gases en el galpón. El sistema de ventilación debe remover estos gases de desecho del galpón y alimentar aire fresco.

Los principales contaminantes del aire dentro del galpón son el polvo, amoníaco, dióxido de carbono, monóxido de carbono y exceso de vapor de agua. En exceso, estos contaminantes producen daños en el tracto respiratorio, reducción de la eficiencia de la respiración y finalmente, reducción en el rendimiento del pollo (menor peso y alto consumo de alimento y otros recursos).

Se define como tasa de ventilación el caudal de aire movido por unidad de tiempo. Para esta aplicación práctica, se utilizan las unidades  $m^3$ /hora.



De acuerdo a estudios realizados, para conseguir una buena calidad de aire, se recomienda tener al menos las tasas de ventilación mínimas mostradas en la tabla siguiente:

**TABLA 3.**

**TASAS DE VENTILACIÓN MÍNIMA Y MÁXIMA EN FUNCIÓN DEL PESO**

Peso del Ave (kg)	Ventilación (m <sup>3</sup> /hora)		Peso del Ave (kg)	Ventilación (m <sup>3</sup> /hora)	
	Mín	Máx		Mín	Máx
0.050	0.074	0.761	1.800	1.091	11.189
0.100	0.125	1.280	1.900	1.136	11.652
0.150	0.169	1.735	2.000	1.181	12.109
0.200	0.210	2.153	2.100	1.225	12.560
0.250	0.248	2.546	2.200	1.268	13.006
0.300	0.285	2.919	2.300	1.311	13.447
0.350	0.319	3.276	2.400	1.354	13.883
0.400	0.353	3.621	2.500	1.396	14.315
0.450	0.386	3.956	2.600	1.437	14.742
0.500	0.417	4.281	2.700	1.479	15.165
0.550	0.448	4.598	2.800	1.520	15.585
0.600	0.479	4.908	2.900	1.560	16.000
0.650	0.508	5.212	3.000	1.600	16.412
0.700	0.537	5.510	3.100	1.640	16.821
0.750	0.566	5.803	3.200	1.680	17.226
0.800	0.594	6.090	3.300	1.719	17.629
0.850	0.621	6.374	3.400	1.758	18.028
0.900	0.649	6.653	3.500	1.796	18.424
0.950	0.676	6.928	3.600	1.835	18.817
1.000	0.702	7.200	3.700	1.873	19.208
			3.800	1.911	19.596
1.100	0.754	7.734	3.900	1.948	19.982
1.200	0.805	8.255	4.000	1.986	20.365
1.300	0.855	8.766	4.100	2.023	20.745
1.400	0.904	9.267	4.200	2.060	21.124
1.500	0.951	9.759	4.300	2.096	21.500

1.600	0.999	10.243	4.400	2.133	21.874
1.700	1.045	10.719	4.500	2.169	22.245

Estos datos sirven como parámetro base en la selección de equipos de ventilación para los galpones de crianza. Estos sistemas deberán poder cubrir la tasa máxima de ventilación especificada en la tabla, para el peso deseado en el pollo al final de su crianza, garantizando obviamente que se supere la tasa mínima.

### **1.3 Índice de mortalidad**

El índice de mortalidad en una explotación avícola se define como el porcentaje de aves que no llegan al final de su ciclo de producción, en relación con el número de aves que iniciaron dicho ciclo.

Para determinar el número de aves que no llegan al final del ciclo de producción, debe incluirse las aves muertas por cualquier causa o que hubieren sido descartadas por presentar malformaciones o falta de crecimiento acorde a su edad.

La mortalidad se da principalmente al principio o al final del ciclo de producción, que generalmente dura 47 días en promedio. Al principio del ciclo de producción, debe protegerse al pollito de la baja temperatura, la misma que puede ser causante de alta mortalidad. Al final del ciclo de producción, la principal causa de mortalidad es la provocada por estrés calórico.

La evolución genética que han tenido los pollos de engorde en las últimas décadas han hecho que sean mucho más susceptibles al calor que sus predecesores. Los pollos de engorde actuales son verdaderas “máquinas de convertir alimento en carne”, son extremadamente voraces y ello las hace especialmente susceptibles a morir cuando son sometidas a temperatura extrema.

#### **1.4 Productividad en condiciones previas**

La explotación objeto del estudio de la presente tesis se desarrolla en el sector costero de la provincia del Guayas en Ecuador. Este sector presenta un clima cálido y húmedo, propio del trópico. Existen dos estaciones climáticas bien diferenciadas: la estación seca o verano, que va de junio a noviembre, caracterizada por una temperatura promedio de 23 °C, y la estación invernal que va de diciembre a mayo caracterizada

por la presencia de lluvias y altas temperaturas, que oscilan desde 25 a 32 grados centígrados y humedad relativa promedio del 65.75%.

A continuación se presenta una tabla con los registros de temperatura y humedad de la granja en un período de un año:

**TABLA 4**  
**REGISTRO DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA EN GRANJA**

MES	T MAX	T MIN	H.R. (%)
ENE	29.3	25.3	61
FEB	30.5	23.2	60
MAR	28.3	25.3	73
ABR	32.0	25.0	68
MAY	30.5	21.0	66
JUN	28.0	20.8	67
JUL	26.0	20.0	63
AGO	23.0	19.0	73
SEP	25.0	20.0	68
OCT	26.0	20.0	64
NOV	27.0	19.0	63
DIC	29.0	20.0	63
<b>PROMEDIO</b>	<b>27.9</b>	<b>21.6</b>	<b>65.8</b>
<b>MAXIMA</b>	<b>32.0</b>	<b>25.3</b>	<b>73.0</b>

Bajo estas condiciones, los resultados obtenidos en la crianza de pollos no estaban acordes al desarrollo que ha tenido la avicultura en los últimos años.

El parámetro más importante, la conversión alimenticia, que con la mejora implementada llegó a ubicarse en 1.87, antes se situaba en 2.16, es decir

que se necesitaba 0.29 kg más de alimento balanceado para producir 1 kg de pollo.

A continuación se presenta un cuadro con los resultados obtenidos en los cuatro lotes de producción obtenidos en el invierno del año 2003, es decir, antes de la implantación del proyecto:

**TABLA 5.**

**PARÁMETROS DE PRODUCCIÓN – INVIERNO 2003**

1.1.1	Parámetro	1.1.2	0	1.1.3	01	1.1.4	0	1.1.5	01	1.1.6	PRO MEDI O
			5-		-		1-		-		
			0		03		0		03		
			2-		-A		3-		-C		
			C				B				
1.1.7	Aves Ingresadas	1.1.8	1 2, 1 8 1	1.1.9	27 ,0 00	1.1.10	8, 0 0 0	1.1.11	30 ,0 00	1.1.12	77,18 1
1.1.13	Aves Finales	1.1.14	1 1, 4 9 5	1.1.15	23 ,9 96	1.1.16	7, 2 1 5	1.1.17	26 ,9 11	1.1.18	69,61 7
1.1.19	Peso Final Lote (kg)	1.1.20	2 3, 1 8 4	1.1.21	53 ,9 52	1.1.22	1 6, 4 0 4	1.1.23	57 ,1 33	1.1.24	150,6 72
1.1.25	Alimento consumido	1.1.26	5 3,	1.1.27	11 8,	1.1.28	3 5,	1.1.29	11 8,	1.1.30	325,6 00

lote (kg)	5	04	5	48	
	6	0	2	0	
	0		0		
1.1.31 Mortalidad (%)	1.1.32 5.6%	1.1.33 11.1%	1.1.34 9.8%	1.1.35 10.3%	1.1.36 9.8%
1.1.37 Peso promedio por pollo (kg)	1.1.38 2.02	1.1.39 2.25	1.1.40 2.27	1.1.41 2.12	1.1.42 2.16
1.1.43 Conversión alimenticia	1.1.44 2.31	1.1.45 2.19	1.1.46 2.17	1.1.47 2.07	1.1.48 2.16

Evaluando estos parámetros, el objetivo principal del sistema a implantar es reducir la temperatura al nivel más cercano a 20°C, que es el requerido por los pollos para un óptimo desarrollo.

## Capítulo 2

**TABLA 6  
CARACTERÍSTICAS DE UN GALPON**

Característica	Valor / Descripción
Estructura	Metálica
Cubierta	Metálica (acero aluminizado)
Piso	hormigón
Longitud	120 m
Ancho	10 m

Altura central	4.8 m
Altura lateral	3.0 m

En función de esta configuración de galpón, se consideran las alternativas de solución y el dimensionamiento del sistema a implantar.

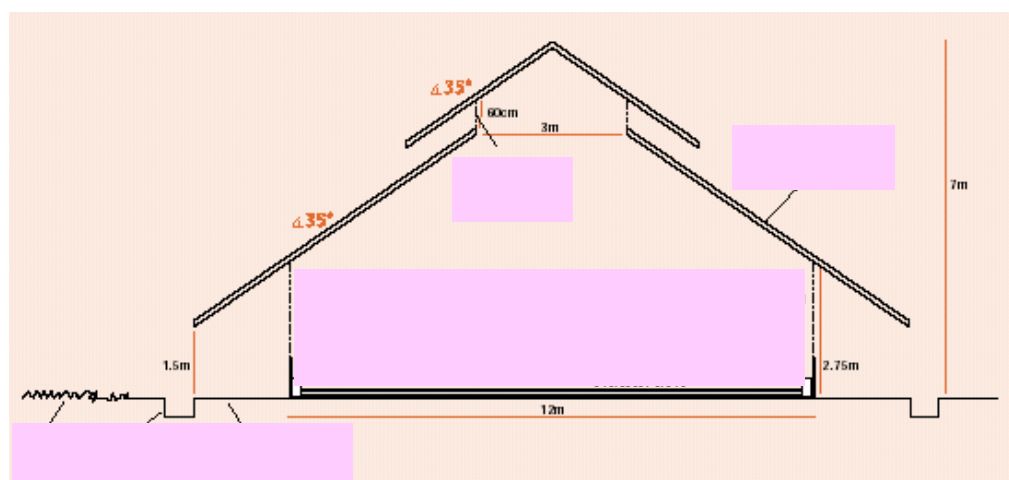
## 1.2 Alternativas a considerar

### Galpones abiertos con ventilación natural

Como su nombre lo indica, se trata de galpones abiertos. Su estructura puede ser de madera, metal o de hormigón y cubierta metálica o de algún tipo de fibrocemento.

En estos galpones la ventilación se da por el flujo natural del viento, por lo que su uso se limita a zonas donde se cuente con viento de forma permanente durante todas las estaciones del año.

En la actualidad su uso a nivel industrial en el Ecuador está prácticamente desapareciendo, puesto que al no contar siempre con las condiciones naturales más favorables, su aplicación conlleva bajo rendimiento.



**FIGURA 2.1. DISEÑO BÁSICO DE UN GALPÓN ABIERTO**

Como ventajas del uso de galpones abiertos y ventilación natural, se puede citar su bajo costo de implantación y de mantenimiento, puesto que no lleva equipos de ventilación ni enfriamiento adicionales; fácil operación y manejo de la producción; y, la independencia del aprovisionamiento de energía eléctrica, especialmente en cuanto a sistemas de ventilación.

Entre las principales desventajas se tiene un manejo de baja densidad, bajo rendimiento en el crecimiento del pollo, riesgo de excesiva mortalidad en temporada de alta temperatura, comprometiendo la viabilidad del negocio.

### **Galpones abiertos con ventilación forzada**

Este tipo de galpones tiene igual estructura que los empleados con ventilación natural, sin embargo, la ventilación es provista por ventiladores, montados generalmente en forma lateral a lo largo del galpón, para brindar un flujo directo de aire sobre las aves. La idea es mantener la tasa de ventilación requerida por los pollos para obtener de ellos su máximo rendimiento.

Este sistema tiene muchas limitaciones al no permitir un flujo de aire controlado, puesto que recibe influencia directa del viento. Esto no permite un control estricto de la calidad de aire o de la temperatura al interior del galpón.

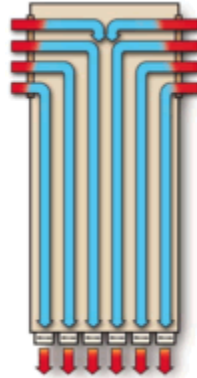
Este tipo de sistemas permiten un mejor aprovechamiento de la capacidad instalada del galpón, al permitir el manejo de densidades más aceptables que en el caso de ventilación natural. A pesar de ser una mejor opción que la ventilación natural, en climas tropicales, con temperaturas sobre los 35 C, no es suficiente la ventilación forzada para alcanzar los niveles de temperatura requeridos por las aves para una producción eficiente.

### **Galpones cerrados con ventilación por túnel**

Este tipo de galpones, cuenta con un sistema de ventilación forzada. Son galpones de estructura similar a los galpones abiertos, pero cuentan con sistemas de cortinas que permiten sellar el galpón con el fin de formar un túnel. En un extremo del mismo, se colocan extractores de aire y en el otro extremo aberturas para permitir el ingreso de aire fresco. Este sistema tiene como ventaja el lograr mantener una buena calidad de aire y al aumentar la velocidad del mismo, incrementa la tasa de calor disipado por convección de los pollos. Por cada 1 m/s de velocidad del aire al nivel de las aves, la temperatura percibida por éstas cae en 3 C. A temperaturas altas, se puede mantener una velocidad del aire de unos 3 m/s para lograr una caída de 9 C en la temperatura percibida por el ave. Sin embargo, en climas cálidos, donde las temperaturas alcanzan fácilmente los 40 C, esta



reducción es insuficiente para alcanzar los niveles necesarios para obtener un buen rendimiento.



**FIGURA 2.2.** ESQUEMA DE UN GALPÓN CON VENTILACIÓN POR TÚNEL

Una desventaja de estos sistemas es su dependencia de un abastecimiento permanente de energía eléctrica, por lo que se requiere contar con grupos generadores de energía como alternativa en caso de un corte en el abastecimiento regular de energía.

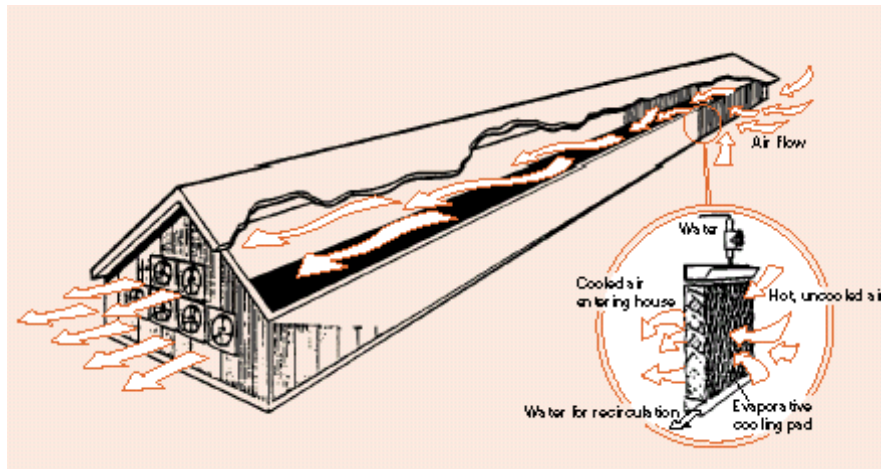
### **Galpones cerrados con ambiente controlado**

A más de contar con ventilación por túnel, estos galpones cuentan con sistemas de enfriamiento del aire por evaporación de agua. Principalmente en altas temperaturas, esto es, sobre los 27 C, no es suficiente la velocidad del aire para conseguir una baja aceptable de temperatura y mantener a las aves dentro de su rango normal de operación (20 a 29°C, dependiendo del peso).

En climas tropicales, con temperaturas que pasan de 40°C, la ventilación por túnel apenas podría bajar unos 8 a 9°C como máximo, dejando a las aves en temperaturas alrededor de 31°C, lo que supera las temperaturas recomendadas para obtener los mejores resultados (Tabla 2).

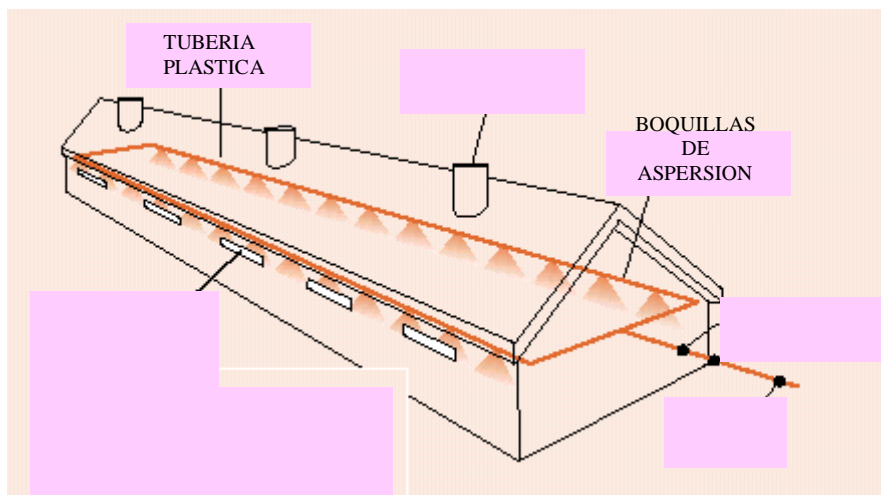
El enfriamiento evaporativo de los galpones se puede conseguir de dos formas, por paneles húmedos colocados en las entradas de aire o por rocío en el interior del galpón a través de boquillas de aspersión de agua.

En el caso de utilizar paneles evaporativos, se hace pasar la corriente de aire que entra al galpón por un panel de celulosa humedecido con agua. El contacto de la corriente de aire con el agua, produce el evaporamiento de esta última, utilizando energía como calor, cedida por el aire. En la siguiente figura se muestra un esquema básico de un galpón con ventilación por túnel y enfriamiento a través de paneles evaporativos.



**FIGURA 2.3. ENFRIAMIENTO POR PANELES EVAPORATIVOS**

Una solución alternativa a los paneles evaporativos y en términos generales, de menor inversión, consiste en montar líneas de boquillas aspersoras para producir una nube o rocío de agua en el interior del galpón, la misma que se evaporará al paso de la corriente de aire. Para este tipo de sistemas se utilizan equipos de bombeo de alta presión (400 a 600 psi), para producir gotas de agua de 10 a 15 micrones, las que son más fáciles de evaporar. Dependiendo de las condiciones de aplicación, este sistema se puede utilizar individualmente o en conjunto con paneles evaporativos. En la ilustración siguiente se presenta un esquema de este sistema, utilizado en conjunto con ventilación.



**FIGURA 2.4 ENFRIAMIENTO POR ASPERSIÓN**

Una desventaja del sistema de aspersión es que debe acentuarse el monitoreo permanente del galpón en busca de boquillas en mal estado. Las boquillas en mal estado tienden a gotear, humedeciendo exageradamente la “cama”, como se denomina al piso de viruta de madera, tamo de arroz u otro material sobre el que se mantiene a los pollos.

La alta humedad dentro del galpón y sobre todo en la cama, se constituye en un ambiente propicio para el desarrollo de agentes patógenos perjudiciales para los pollos.

### **2.3 Selección de la mejor alternativa**

Para la selección de la mejor alternativa, se debe considerar todos los factores relacionados con el sistema de ventilación y enfriamiento que afecten al rendimiento en el engorde de pollos, es decir, que estén vinculados al aprovechamiento máximo de los recursos para obtener el mayor beneficio. Esta es la única forma en que un negocio alcanza su viabilidad económica, objetivo de cualquier empresa.

Los factores a considerar para la selección están principalmente relacionados con la situación actual en que se desenvuelve la empresa, tal como la ubicación geográfica de las granjas de producción, con sus características propias, tales como temperatura, humedad relativa, estacionalidad, viento, calidad del agua y abastecimiento de energía. Otro factor predominante es el recurso humano con que se cuenta para operar los sistemas a implementarse.

Para la selección de la mejor alternativa se elaboró una matriz de decisión que compara los diferentes factores considerados. A continuación se detalla estos factores así como el criterio tomada para su valoración en la matriz de decisión:

- a. **Reducción de temperatura.**- se observa altas temperaturas, que pueden pasar los 32°C en la estación invernal. En la estación de verano oscilan alrededor de los 23°C. Se ha asignado un valor mayor al sistema que logre reducir la temperatura en mayor magnitud. A este factor se le ha dado una ponderación del 50% debido a que representa el principal objetivo del sistema.

- b. **Viento.**- el viento en la estación de verano ayuda a la ventilación, aunque de forma inestable. En la estación invernal, prácticamente se carece de viento. Se ha considerado una calificación mayor al sistema que tenga menor dependencia del viento. A este factor se le ha dado una ponderación del 10%, debido a que la carencia de viento es fácil y económicamente reemplazable por medio de la ventilación forzada.
- c. **Calidad del agua.**- a pesar de contar en granja con abastecimiento de la red pública de agua potable, en momentos de escasez, se debe recurrir a fuentes alternativas, tales como provisión por tanqueros desde otros puntos de abastecimiento o extracción de agua de pozo. Esta variabilidad trae consigo la provisión de agua con distintos grados de dureza. Se ha considerado una calificación mayor al sistema que tenga menor dependencia de la calidad del agua. A este factor se le ha dado una ponderación del 10%.
- d. **Abastecimiento de energía eléctrica.**- la zona cuenta con provisión por parte de la empresa pública, sin embargo, frecuentemente hay cortes de energía por diversos motivos. Se ha considerado una calificación mayor al sistema que presente menor dependencia del abastecimiento de energía eléctrica. A este factor se le ha dado una ponderación del 15%.

- e. **Recurso humano.**- La empresa cuenta con trabajadores conocedores de la actividad de engorde de pollos. Muchos ya operan galpones con equipos de alimentación automáticos y ventiladores. Si se requiere implementar sistemas automáticos que conllevan un manejo más complejo, deberá impartirse capacitación al personal y monitorear permanentemente su primer lote de producción para asegurar el rendimiento esperado. Se ha otorgado una calificación mayor al sistema que tenga menor dependencia de la preparación del recurso humano. A este factor se le ha dado una ponderación del 15%.

A continuación se presenta un cuadro resumen de cada factor con su porcentaje de ponderación:

**TABLA 7**  
**FACTORES DE SELECCION**

<b>FACTOR</b>	<b>PONDERACION</b>
A. Reducción de temperatura	50%
B. Viento	10%
C. Calidad de agua	10%
D. Abastecimiento de energía eléctrica	15%
E. Recurso humano	15%

Para la elaboración de la matriz de decisión, se calificará cada factor con un valor de 1 a 10. Luego se calculará el promedio ponderado de la calificación obtenida por cada sistema. El sistema que obtenga el mayor puntaje será el que se seleccione para su implementación.

A continuación se presenta la matriz de decisión incluyendo la calificación dada a cada sistema por cada factor y la calificación global obtenida:

**TABLA 8**  
**MATRIZ DE DECISION PARA LA SELECCIÓN DEL SISTEMA**

SISTEMA	FACTOR					TOTAL
	A	B	C	D	E	
	50%	10%	10%	15%	15%	
Galpón abierto con ventilación natural	2	1	10	10	10	5.10
Galpón abierto con ventilación forzada	4	10	10	5	8	5.95
Galpón cerrado con ventilación por túnel	6	10	10	3	5	6.20
Galpón cerrado con ventilación por túnel y enfriamiento evaporativo por paneles	10	10	9	2	4	7.80
Galpón cerrado con ventilación por túnel y enfriamiento evaporativo por aspersión	10	10	7	2	4	7.60

Como se puede observar, la alternativa con la calificación más alta consiste en implantar galpones cerrados con ventilación por túnel y enfriamiento evaporativo por medio de paneles.

Para reforzar la valoración hecha a través de la matriz presentada, se procedió a hacer un análisis cualitativo de los criterios de selección, el mismo que se presenta a continuación:

1. De los sistemas analizados, es el único que permitirá reducir la temperatura percibida por las aves a los niveles recomendados para una crianza eficiente, ya que las otras alternativas no cuentan con un sistema de enfriamiento adicional al obtenido por el incremento de la velocidad del aire, haciéndolas impracticables para las condiciones climáticas de la zona en que se desarrolla la producción.
  
2. Se propone utilizar únicamente el sistema de paneles evaporativos y no líneas de aspersión de agua, debido a que estas últimas requieren agua de bajo grado de dureza, de la misma que no se puede garantizar su permanente abastecimiento. Al no contar con la calidad de agua requerida,

se expone al sistema a presentar un malfuncionamiento, tanto en el equipo de bombeo, como en las boquillas mismas, siendo más grave el daño en las boquillas puesto que tenderían a gotear sobre la cama, humedeciéndola y de esta forma poniendo en riesgo la bioseguridad del galpón.

3. Aunque la eficiencia del sistema de paneles evaporativos puede disminuir con el paso del tiempo y por el uso de agua de alto nivel de dureza, sus efectos no se manifiestan directamente sobre las aves en producción, como sí sucede en el sistema de aspersión.
4. El sistema de paneles evaporativos requiere menor mantenimiento que los sistemas de aspersión, por lo que el personal de producción podrá dedicar más tiempo al cuidado de las aves que al de los equipos.
5. El sistema de paneles evaporativos es de uso muy difundido en regiones de similares características, inclusive a nivel local, lo que hace factible el intercambio de experiencias con empresas del sector.

#### **2.4 Instalación de los equipos seleccionados**

Una vez definido el sistema a implementarse para cumplir con el objetivo del presente estudio, se procede a su adquisición al proveedor que presente su la mejora oferta considerando calidad, precio, financiamiento y tiempo de entrega.

El contrato de adquisición de los equipos incluyó los servicios de dirección técnica de la instalación, para ello se contó con un técnico especializado en este tipo de montajes, disponible tiempo completo para este proyecto.

La preparación de los galpones para acoger los equipos estuvo a cargo del personal de mantenimiento de la compañía y consistió básicamente en sellar los

galpones para que no haya ingreso de aire que no sea a través de los paneles evaporativos.

El sellado de los galpones se hace por medio de la instalación de cortinas plásticas. Estas cortinas son las mismas que se utilizan para proteger a los pollitos de las corrientes de aire durante los primeros días de crianza, por lo que no hubo que hacer ningún cambio sustancial en este aspecto.

Adicionalmente, hubo que reubicar las bodegas de alimento balanceado, que se encontraban en la mitad del galpón, hacia el extremo del mismo. De esta forma, se aprovechó la totalidad del área del galpón para el alojamiento de los pollos y no para almacenar el alimento balanceado.

### **Información básica requerida**

Para definir qué equipos se utilizará y proceder a la sección de los mismos, se requiere las dimensiones de los galpones en que se implementará el sistema de ambiente controlado. Las dimensiones y características de los galpones actualmente en producción son las siguientes:

Largo: 120.0 m  
Ancho: 10.0 m  
Altura central: 4.8 m  
Altura de las paredes laterales: 3.0 m  
Luz entre columnas: 4.0 m  
Estructura: metálica  
Cubierta: metálica  
Cortinas: tejido de polipropileno  
Piso: de hormigón

Adicionalmente, las condiciones o parámetros de ventilación que debe brindar el sistema al galpón y a los pollos en sí, dependen del peso final con que se comercializarán los pollos, puesto que a esta edad y peso, las aves presentan su máximo requerimiento de intercambio de aire y de una más baja temperatura.

Para el mercado local, el requerimiento en el peso del pollo varía de 5.0 a 5.5 libras en promedio por lote de producción, esto es, un máximo de 2.5 kg. De acuerdo a la Tabla 4, la edad necesaria para que los pollos alcancen este peso sería de unos 45 días.



Si se observa la recomendación de la tabla 2, a partir del día 26, la temperatura ideal para los pollos es de 20°C, lo que sería el objetivo a lograr por el sistema de enfriamiento.

**TABLA 9**

**PESO DEL POLLO (GRAMOS) EN FUNCIÓN DE LA EDAD EN DÍAS.**

<b>1.3 Edad (días)</b>	<b>1.4 Peso (g)</b>	<b>1.5 Edad (días)</b>	<b>1.6 Peso (g)</b>
<b>1.71</b>	<b>1.849</b>	<b>1.936</b>	<b>1.10 1,828</b>
<b>1.11 2</b>	<b>1.12 59</b>	<b>1.13 37</b>	<b>1.14 1,907</b>
<b>1.15 3</b>	<b>1.16 73</b>	<b>1.17 38</b>	<b>1.18 1,987</b>
<b>1.19 4</b>	<b>1.20 89</b>	<b>1.21 39</b>	<b>1.22 2,067</b>
<b>1.23 5</b>	<b>1.24 108</b>	<b>1.25 40</b>	<b>1.26 2,148</b>
<b>1.27 6</b>	<b>1.28 130</b>	<b>1.29 41</b>	<b>1.30 2,229</b>
<b>1.31 7</b>	<b>1.32 154</b>	<b>1.33 42</b>	<b>1.34 2,310</b>
<b>1.35 8</b>	<b>1.36 182</b>	<b>1.37 43</b>	<b>1.38 2,391</b>
<b>1.39 9</b>	<b>1.40 212</b>	<b>1.41 44</b>	<b>1.42 2,472</b>
<b>1.43 10</b>	<b>1.44 244</b>	<b>1.45 45</b>	<b>1.46 2,553</b>
<b>1.47 11</b>	<b>1.48 279</b>	<b>1.49 46</b>	<b>1.50 2,634</b>
<b>1.51 12</b>	<b>1.52 317</b>	<b>1.53 47</b>	<b>1.54 2,715</b>
<b>1.55 13</b>	<b>1.56 356</b>	<b>1.57 48</b>	<b>1.58 2,795</b>
<b>1.59 14</b>	<b>1.60 398</b>	<b>1.61 49</b>	<b>1.62 2,875</b>
<b>1.63 15</b>	<b>1.64 443</b>	<b>1.65 50</b>	<b>1.66 2,954</b>
<b>1.67 16</b>	<b>1.68 489</b>	<b>1.69 51</b>	<b>1.70 3,032</b>
<b>1.71 17</b>	<b>1.72 537</b>	<b>1.73 52</b>	<b>1.74 3,110</b>
<b>1.75 18</b>	<b>1.76 588</b>	<b>1.77 53</b>	<b>1.78 3,187</b>
<b>1.79 19</b>	<b>1.80 641</b>	<b>1.81 54</b>	<b>1.82 3,264</b>

<b>1.3 Edad (días)</b>	<b>1.4 Peso (g)</b>	<b>1.5 Edad (días)</b>	<b>1.6 Peso (g)</b>
<b>1.83 20</b>	<b>1.84 697</b>	<b>1.85 55</b>	<b>1.86 3,339</b>
<b>1.87 21</b>	<b>1.88 756</b>	<b>1.89 56</b>	<b>1.90 3,413</b>
<b>1.91 22</b>	<b>1.92 818</b>	<b>1.93 57</b>	<b>1.94 3,487</b>
<b>1.95 23</b>	<b>1.96 882</b>	<b>1.97 58</b>	<b>1.98 3,559</b>
<b>1.99 24</b>	<b>1.100 948</b>	<b>1.101 59</b>	<b>1.102 3,630</b>
<b>1.103 25</b>	<b>1.104 1,015</b>	<b>1.105 60</b>	<b>1.106 3,699</b>
<b>1.107 26</b>	<b>1.108 1,083</b>	<b>1.109 61</b>	<b>1.110 3,767</b>
<b>1.111 27</b>	<b>1.112 1,152</b>	<b>1.113 62</b>	<b>1.114 3,833</b>
<b>1.115 28</b>	<b>1.116 1,223</b>	<b>1.117 63</b>	<b>1.118 3,898</b>
<b>1.119 29</b>	<b>1.120 1,295</b>	<b>1.121 64</b>	<b>1.122 3,961</b>
<b>1.123 30</b>	<b>1.124 1,368</b>	<b>1.125 65</b>	<b>1.126 4,022</b>
<b>1.127 31</b>	<b>1.128 1,443</b>	<b>1.129 66</b>	<b>1.130 4,082</b>
<b>1.131 32</b>	<b>1.132 1,518</b>	<b>1.133 67</b>	<b>1.134 4,139</b>
<b>1.135 33</b>	<b>1.136 1,595</b>	<b>1.137 68</b>	<b>1.138 4,194</b>
<b>1.139 34</b>	<b>1.140 1,672</b>	<b>1.141 69</b>	<b>1.142 4,247</b>
<b>1.143 35</b>	<b>1.144 1,750</b>	<b>1.145 70</b>	<b>1.146 4,298</b>

En el caso de la tasa de ventilación, para el peso objetivo fijado (2.5 kg), el mínimo es de 1.396 m<sup>3</sup>/hora y el máximo 14.315 m<sup>3</sup>/hora. Estos valores dependen esencialmente de la temperatura ambiental, puesto que a mayor temperatura, se requerirá una mayor tasa de ventilación para ayudar al enfriamiento por convección.

La capacidad instalada total de los equipos de ventilación que se seleccionen deberá cumplir con el flujo máximo requerimiento para el galpón.

Otro parámetro a considerar al momento de seleccionar los equipos de ventilación, es que la velocidad lineal del flujo de aire en el galpón no debe exceder el máximo de 3 m/s, nivel en el cual causa estrés en los pollos. Esta es la razón por la cual no sólo basta el flujo de aire para bajar la temperatura, sino que se requieren sistemas adicionales de enfriamiento, tal como el evaporativo.

### **Descripción de la instalación**

De acuerdo a las dimensiones y características de los galpones, se requiere los equipos que a continuación se detalla para implementar el sistema de ventilación y enfriamiento con ambiente controlado.

- a.** Extractores de aire. Son ventiladores utilizados para extraer el aire viciado del galpón. Se colocan a manera de banco de 4 a 8, generalmente, en un extremo del galpón. El encendido de los mismos se efectúa a través de termostatos, los que van activando los ventiladores en etapas según la necesidad de flujo de aire para compensar la temperatura.
- b.** Paneles evaporativos. Consisten en el panel en sí, hecho de material de celulosa, y su sistema de bombeo, controlado a su vez, por sensores de humedad.
- c.** Controles de temperatura y humedad para las bombas de agua, termostatos y contactores para los ventiladores.
- d.** Sistema de cortinas para sellado total del galpón, son esenciales para evitar el ingreso de aire por otros lugares y no a través de los paneles de enfriamiento evaporativo. Las cortinas deben ser de material plástico de alta resistencia, con recubrimiento protector de la radiación ultravioleta. Debe incluir un malacate para izar y bajar las cortinas según la necesidad.
- e.** Cortinas para “baffles”, consisten en segmentos de cortinas colocados en el interior del galpón, suspendidos desde el techo, para forzar a la corriente de aire a pasar al nivel de las aves.

- f. Generador de energía eléctrica de respaldo. Se requiere que utilice diesel como combustible, por su fácil disponibilidad y rendimiento económico de este combustible.

### **Selección de los equipos a instalarse**

En esta sección se calculará los parámetros requeridos para la selección de equipos de ventilación y enfriamiento evaporativo. Una vez seleccionados los equipos necesarios, se procede a su cotización con diversos proveedores y se selecciona la mejor oferta. Con esta decisión, se puede realizar la adquisición de los equipos y su posterior instalación.

Para realizar todos los cálculos se ha implementado una hoja de cálculo, la misma que puede servir de modelo para la selección de equipos de ventilación para galpones o granjas adicionales en el futuro, puesto que al cambiar los valores de los parámetros básicos, se calculan automáticamente los requerimientos para la selección.

### **Ventiladores/extractores**

La selección de los extractores de aire, se hace considerando los parámetros de velocidad del aire requerida para bajar la temperatura percibida de las aves al disipar calor por convección y el caudal o tasa de ventilación mínima y máxima recomendada para el engorde de pollos (Ver Tabla 3).

A continuación se presentan las dimensiones del galpón, así como el cálculo de la sección transversal y el volumen del mismo, ambos necesarios para la determinación del flujo requerido de los ventiladores:

#### **Dimensiones del galpón**

##### **Nomenclatura:**

L: Longitud	120.0	m
W: Ancho	10.0	m
Hc: Altura central	4.8	m
Hl: Altura lateral	3.0	m
At: Area de la sección transversal		

V: Volumen del galpón

#### **Cálculo del área de la sección transversal**

$$At = W * ( Hc + Hl ) / 2$$

$$At = 39.0 \quad m^2$$

#### **Cálculo del volumen del galpón**

$$V = At * L$$

$$V = 4,680 \quad m^3$$

Para determinar el flujo requerido, se debe considerar dos criterios: la tasa de ventilación o flujo máximo requerido por los pollos para que haya una adecuada renovación de aire; y, el flujo requerido para poder brindar a los pollos la máxima velocidad del aire sin que se afecte su confort.

Según la tabla 3 el flujo máximo requerido para obtener un peso final de pollo de 2.5 kg es de 14.315 m<sup>3</sup>/hora. Con este parámetro se calcula el flujo requerido en pies cúbicos por minuto.

#### **FLUJO REQUERIDO EN FUNCION DE LA TASA DE VENTILACIÓN**

$$Q_{max} : 14,315 \quad m^3/hora$$

Convirtiendo m<sup>3</sup>/hora a cfm, tenemos:

$$Q_{max} = 8,419 \quad cfm$$

Para determinar el flujo requerido para obtener la máxima velocidad del aire, sin perjudicar el confort del pollo. Esta velocidad ha sido determinada experimentalmente por las empresas internacionales que desarrollan las líneas genéticas que se utiliza comercialmente y consta en los manuales de manejo de pollo de engorde. A pesar de que algunos manuales de manejo mencionan velocidades de hasta 3 m/s, se ha considerado un máximo de 2 m/s en esta aplicación, por recomendación de los veterinarios responsables de la crianza de pollos en la empresa.

A continuación se presenta el cálculo del flujo requerido en función de la velocidad máxima del aire:

#### **FLUJO MAXIMO REQUERIDO EN FUNCION DE LA VELOCIDAD DEL AIRE**

**Nomenclatura:**

Vmax: Velocidad máxima del aire	2.0	m/s
At: Area transversal del túnel	39.0	m <sup>2</sup>
Q vel: flujo en función de la velocidad del aire		
$Q \text{ vel} = V_{\text{max}} * A_t$	78.0	m <sup>3</sup> / s

Convirtiendo m<sup>3</sup>/s a cfm, tenemos:

$$Q \text{ vel} = 165,273 \text{ cfm}$$

Como se puede observar, el flujo requerido para alcanzar una óptima velocidad del aire en el interior del galpón es mayor que el flujo requerido para obtener una adecuada renovación de aire, por esta razón, si se toma el valor mayor, estarán cubiertas ambas necesidades. En este caso, el flujo requerido es de 165,273 cfm.

A continuación se procederá a la selección del tipo de ventilador ofrecido por diversos proveedores, en función de su eficiencia y costo.

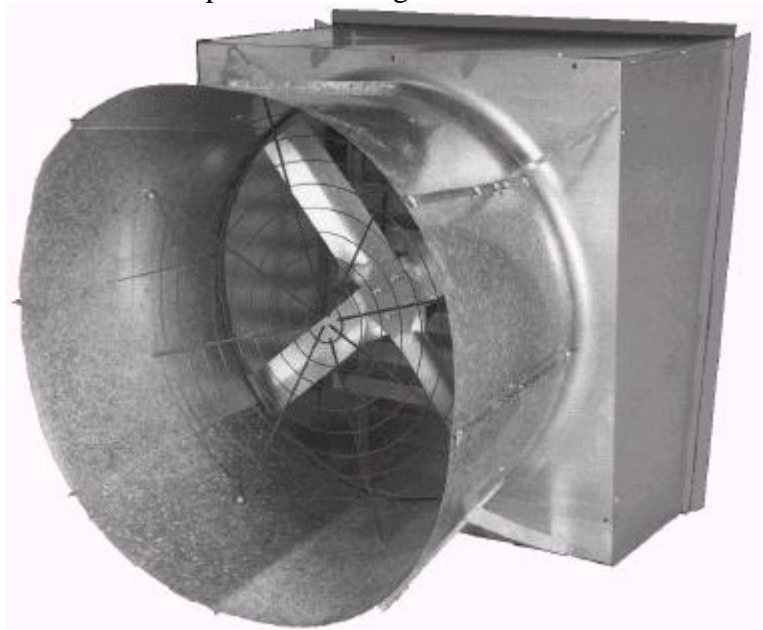
La Gerencia ha tomado la decisión de pre-calificar a dos proveedores, ambos del exterior, por su trayectoria y relación con la empresa en compras anteriores de equipo avícola. Este último factor es importante puesto que el proveedor deberá brindar asistencia técnica previa a la adquisición de los equipos, durante su instalación y puesta en marcha, y durante su operación y mantenimiento. Ambos proveedores representan a conocidas y prestigiosas marcas de equipos avícolas, por lo que ofrecen garantía y asistencia técnica en la venta de equipos, más aún, se caracterizan por ser empresas de servicios de asistencia técnica a más de venta de equipos.

Ambos oferentes ofrecen equipos de características y tecnología similares, por lo que la decisión de qué proveedor suministrará los equipos se ha basado en su oferta económica, se ha escogido al proveedor que menores precios ha cotizado, quien a su vez presenta las mejores condiciones de crédito para el pago.

La marca de equipos representada por este proveedor es American Coolair Corp., de la cual se ha consultado sus catálogos para la selección de equipos. De acuerdo a esto, se ha seleccionado ventiladores de la serie NEF, diseñados especialmente para facilitar su exportación, por sus características de ensamble y peso. En el apéndice 1 se muestra la tabla de características de estos ventiladores para sus diferentes diámetros de rotor.

El conjunto completo de cada ventilador, por recomendación del fabricante para aumentar su eficiencia, incluye los siguientes accesorios: rejilla protectora en el

frente (al interior del galpón, por seguridad de las aves y trabajadores), persianas que sellan el boquete del ventilador cuando éste está apagado, carcasa para montaje inclinado y cono de salida del aire, estos dos últimos accesorios, según estudios del fabricante, aumentan la eficiencia del ventilador, como lo demuestran los valores presentados en las tablas y certificados por Bess Labs de University of Illinois. A continuación se presenta una figura de este ventilador:



**FIGURA 2.5. VENTILADOR AMERICAN COOLAIR SERIE NEF (CON CONO)**

Para la selección, se utilizó la tabla proporcionada por el fabricante, la misma que consta en el apéndice 1, en la que se muestran las características de los diversos modelos de ventilador de la serie NEF.

Los parámetros de entrada para la selección son el caudal total requerido, que en este caso fue calculado en 165,273 cfm y la presión estática.

Para determinar la presión estática, debe considerarse la caída de presión a lo largo del galpón y la caída de presión del panel evaporativo. Esta última es una propiedad del panel evaporativo seleccionado, como se determina en la sección correspondiente, tiene un valor de 0.08 pulgadas de agua.

En el caso de la caída de presión a lo largo del galpón, al tratarse de un galpón de dimensiones y materiales de construcción estándar en avicultura internacional, fue determinada experimentalmente por los especialistas encargados de la asistencia técnica durante la implantación, es de 0.004 pulgadas de agua.

Con estos valores, se puede seleccionar ventiladores con 0.10 pulgadas de agua de presión estática de la tabla correspondiente. A continuación se presenta un extracto de la tabla de ventiladores American Coolair serie NEF incluyendo una columna que muestra la cantidad de ventiladores requerida para cubrir el flujo de 165,273 cfm calculado anteriormente.

**TABLA 10**  
**DATOS PARA LA SELECCIÓN DE LOS VENTILADORES**  
**(EXTRACTO DEL APENDICE 1)**



#	Modelo	Potencia del motor (HP)	RPM del ventilador	Flujo (cfm)	cfm/watt	Cantidad requerida	Características
1	MNEF52K	3/4	405	17,073	21.2	10	Montaje inclinado, persianas y protección en el frente
2	MNEFE52L	1	449	19,807	18.4	9	
3	MNEF52L	1	463	20,750	17.6	8	
4	MNEF52M	1 1/2	500	23,100	17.0	8	
5	MNEFC52K	3/4	404	17,864	22.7	10	Montaje inclinado, persianas, protección en el frente y cono
6	MNEFEC52L	1	449	21,394	20.7	8	
7	<b>MNEFC52L</b>	<b>1</b>	<b>464</b>	<b>22,590</b>	<b>20.4</b>	<b>8</b>	
8	MNEFC52M	1 1/2	500	25,505	20.2	7	

De estos ventiladores, se ha seleccionado el modelo MNEFC52L, puesto que sólo se requerirían 8 ventiladores para cubrir la demanda del sistema, y no 9 o 10 como en los modelos numerados del 1 al 6. De los dos modelos que mueven mayor flujo, es decir 7 y 8, se ha escogido el 7, porque es el más eficiente en cuanto a consumo de energía a pesar de que su caudal es algo menor que el del 8.

### Paneles Evaporativos

En el caso de los paneles evaporativos, se ha escogido paneles rígidos elaborados en papel de celulosa, diseñados específicamente para aplicaciones en galpones avícolas o de horticultura. En la marca Glacier-Cor, se seleccionó los paneles tipo 30/30 de 6 pulgadas de espesor. El tipo 30/30 es el tipo recomendado por el fabricante para aplicaciones avícolas y el espesor de 6 pulgadas hace que el panel sea auto-soportante en arreglos de hasta 6 pies de altura.

Para calcular las dimensiones de los paneles evaporativos, se toma como base la velocidad a la que pasará el aire a través del panel. En este caso, la velocidad tomada es de 2 m/s, es decir, la misma velocidad máxima del aire al interior del galpón. Se toma esta velocidad para que no haya variación entre la velocidad de entrada del aire y la velocidad estable dentro del galpón, puesto que una variación produciría espacios de poca ventilación y espacios de mayor velocidad, causando en ambos casos estrés a los pollos que se encuentren en esas áreas.

Una vez determinada la velocidad del aire, a través del gráfico de eficiencia proporcionado por el fabricante, se determina la eficiencia del panel evaporativo. La eficiencia del panel se define como la razón entre variación de temperatura del aire al cruzar el panel y la diferencia entre la temperatura de bulbo húmedo del aire y la temperatura de entrada del aire. Esta eficiencia está determinada según la siguiente ecuación:

$$N = \frac{T_{DB2} - T_{DB1}}{T_{WB} - T_{DB1}}$$

Donde:

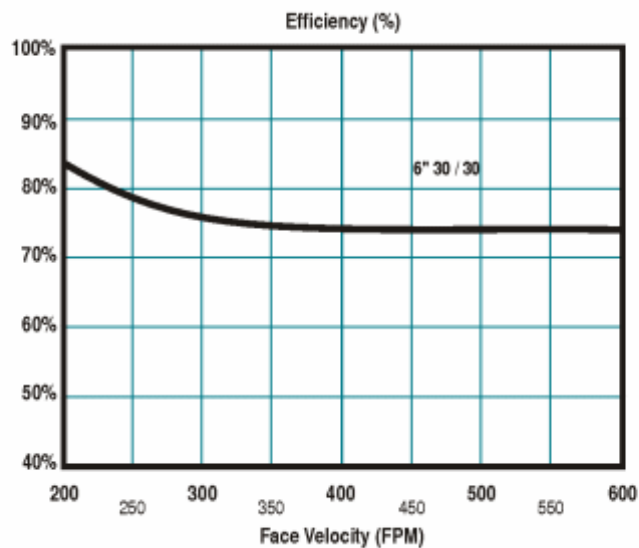
N = eficiencia del panel evaporativo

$T_{DB1}$  = temperatura del aire a la entrada del panel

$T_{DB2}$  = temperatura del aire a la salida del panel

$T_{WB}$  = temperatura de bulbo húmedo del aire

Para obtener la eficiencia del panel, debe convertirse la velocidad de 2 m/s a ft/min, puesto que son las unidades utilizadas en el gráfico proporcionado por el fabricante. La velocidad del aire es entonces de 394 ft/min. Para utilizar el gráfico, se ha tomado una aproximación a 400 ft/min. A continuación se presenta el gráfico de eficiencia para un panel 30/30 Glacier-Cor:



**FIGURA 2.6. EFICIENCIA DEL PANEL EVAPORATIVO GLACIER-COR 30/30**

La línea punteada muestra la curva de eficiencia para el panel seleccionado, esto es, de 6 pulgadas de espesor. Para una velocidad de 400 fpm, la eficiencia del panel será del 75%.

Una vez determinada la eficiencia del panel, se puede calcular cuál será la temperatura de salida del aire. Despejando  $T_{DB2}$  de la ecuación que define la eficiencia, tenemos:

$$T_{DB2} = T_{DB1} - N (T_{DB1} - T_{WB})$$

La temperatura del aire a la entrada del panel es la temperatura del aire ambiental. Se tomó como temperatura ambiental la temperatura máxima registrada en el año anterior al año de implementación del proyecto, según los registros internos de temperatura llevado en granja.

La temperatura de bulbo húmedo se obtiene por medio de un diagrama psicrométrico tomando como punto de partida la temperatura de bulbo seco y la

humedad relativa del aire ambiental. La humedad relativa también se tomó de los registros internos de la granja.

A continuación se presenta la tabla con los registros de temperatura y humedad relativa tomados como base del cálculo:

**TABLA 11**  
**REGISTRO DE TEMPERATURAS Y HUMEDAD RELATIVA**

MES	T MAX	T MIN	H.R. (%)
ENE	29.3	25.3	61.0
FEB	30.5	23.2	60.0
MAR	28.3	25.3	73.0
ABR	32.0	25.0	68.0
MAY	30.5	21.0	66.0
JUN	28.0	20.8	67.0
JUL	26.0	20.0	63.0
AGO	23.0	19.0	73.0
SEP	25.0	20.0	68.0
OCT	26.0	20.0	64.0
NOV	27.0	19.0	63.0
DIC	29.0	20.0	63.0
PROMEDIO	27.9	21.6	65.8
MAXIMA	32.0	25.3	73.0

La temperatura máxima registrada fue de 89.6°F (32°C) y la humedad relativa promedio fue de 65.75%. Con estos datos, a través del diagrama psicrométrico se obtiene la temperatura de bulbo húmedo del aire: 79.9 °F (26.6°C). A continuación se presenta el diagrama psicrométrico mostrando estas condiciones:

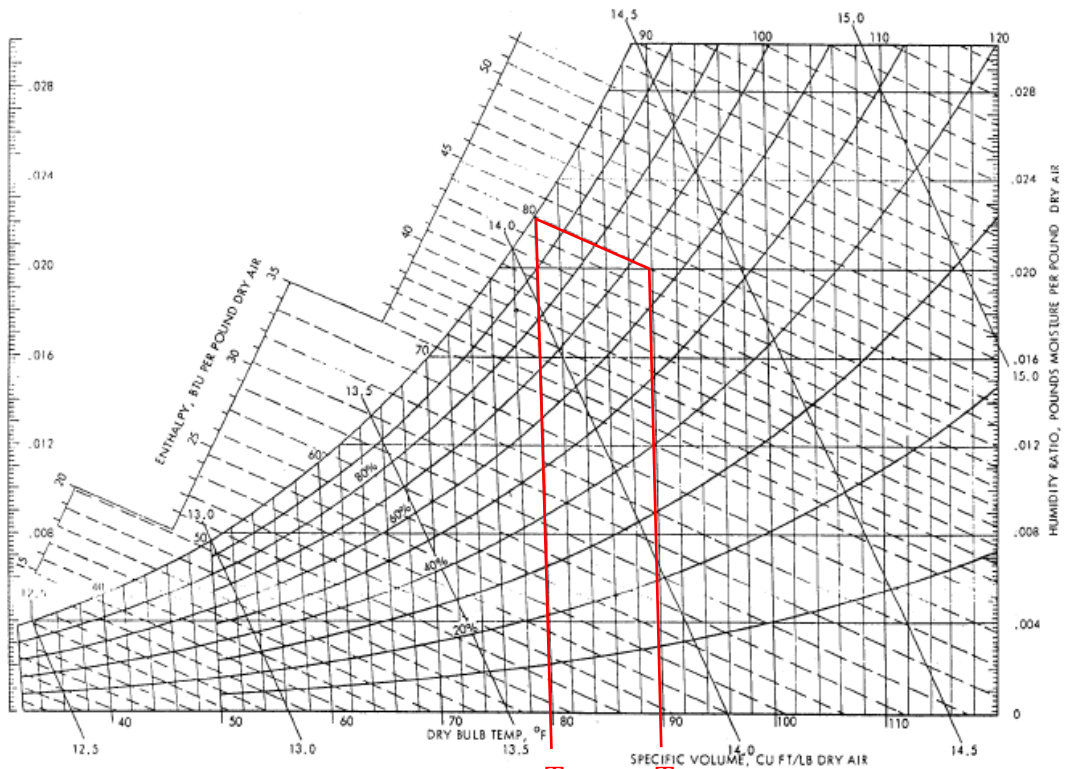


FIGURA 2.7 DIAGRAMA PSICROMETRICO – CONDICIONES DEL AIRE DE ENTRADA

**CONDICIONES DEL AIRE DE ENTRADA**

T DB1 = 89.6 °F 32.0 °C  
 HR (%) = 66%  
 Po = 14.696 psia

T WB = 79.9 °F 26.6 °C  
 m1 = 0.01982 lbm hum / lbm aire seco

Donde:

T DB1 = Temperatura del aire de entrada

HR (%) = Humedad relativa en porcentaje

Po = presión atmosférica,

T WB = Temperatura de bulbo húmedo del aire

m1 = humedad del aire de entrada, lbm humedad / lbm aire seco

Con la temperatura de bulbo húmedo del aire, se puede calcular la temperatura que tendrá el aire de salida, en función de las condiciones del aire de entrada y la eficiencia del panel evaporativo. Con la temperatura del aire de salida, también se calcula la variación de temperatura a obtenerse a través del panel.

### CALCULO DE LA TEMPERATURA DEL AIRE DE SALIDA

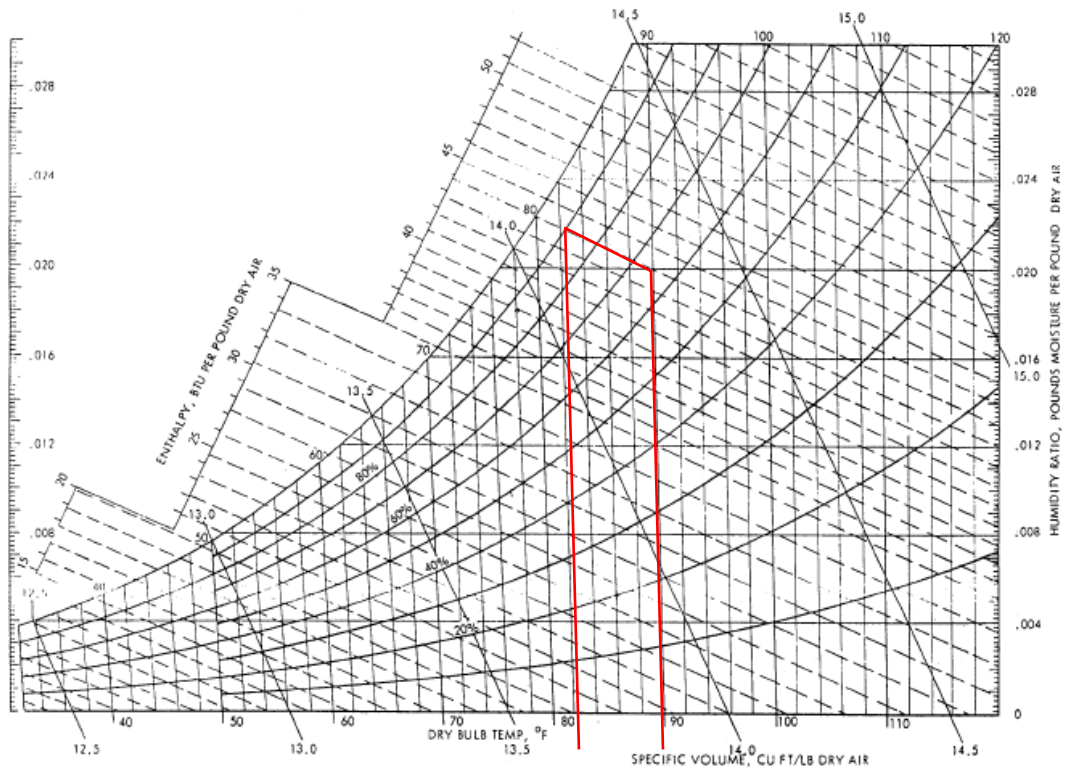
$$T_{DB2} = T_{DB1} - N(T_{DB1} - T_{WB})$$

TDB1 =	89.6 °F	32.0 °C
N =	75%	
TWB =	79.9 °F	26.6 °C
TDB2 =	82.3 °F	27.9 °C

### VARIACION DE TEMPERATURA

**7.31 °F**                      **4.1 °C**

Debido a que no hay aporte de calor externo ni al agua ni al aire que participan en el sistema, el proceso es adiabático. En este proceso, la temperatura del agua utilizada es aproximadamente igual a la temperatura de bulbo húmedo del aire. Si la eficiencia del panel evaporativo fuera del 100%, el proceso adiabático fuera perfecto y la temperatura que alcanzaría el aire a la salida del panel sería la misma temperatura de bulbo húmedo y su humedad relativa llegaría al 100%. Dado que la eficiencia para el panel utilizado es del 85%, la temperatura del aire de salida es algo inferior a la temperatura de bulbo húmedo. A continuación se presentan las condiciones del aire de salida, determinadas a partir del diagrama psicrométrico:



**FIGURA 2.8 DIAGRAMA PSICROMETRICO - CONDICIONES DEL AIRE DE SALIDA**

**CONDICIONES DEL AIRE DE SALIDA**

T DB2 =	82.3 °F	27.9 °C
T WB =	79.9 °F	
Po =	14.696 psia	
HR (%) =	90.03%	
m2 =	0.02245 lbm hum / lbm aire seco	

Donde:

TDB2 = Temperatura del aire a la salida del panel, °F

TWB = Temperatura de bulbo húmedo, °F

Po = Presión atmosférica, psi

HR(%) = Humedad relativa en porcentaje

m2 = humedad del aire de salida, lbm humedad / lbm aire seco

Una vez determinadas las condiciones del aire, tanto de entrada como a la salida del panel, se procede a calcular la cantidad de agua a evaporar en el panel de acuerdo al flujo de aire que pasará a través del mismo, mediante la siguiente ecuación:

$$E = \frac{V [m_2 - m_1] P_a}{D}$$

Donde:

E = cantidad de agua que se evapora, gpm

V = flujo de aire, cfm

m<sub>1</sub> = humedad del aire a la entrada, lbm humedad / lbm aire seco

m<sub>2</sub> = humedad del aire a la salida, lbm humedad / lbm aire seco

P<sub>a</sub> = densidad del aire a temperatura ambiente, 0.0692 lbm/ft<sup>3</sup>

D = densidad del agua, 8.33 lbm/gal

Reemplazando los valores obtenidos de los cálculos anteriores, tenemos:

#### CALCULO DE LA CANTIDAD DE AGUA A EVAPORAR

$$E = \frac{V [m_2 - m_1] P_a}{D}$$

V = 180,720 cfm

m<sub>2</sub> = 0.02245 lbm hum / lbm aire seco

m<sub>1</sub> = 0.01982 lbm hum / lbm aire seco

P<sub>a</sub> = 0.0692 lbm/ft<sup>3</sup>

D = 8.33 lbm/gal

E = 3.95 gpm

En conclusión, para lograr el enfriamiento de 180,720 cfm de aire de 89.6 °F (32° C) a 82.3 °F (27.9 °C), se requiere evaporar un flujo de 3.95 galones por minuto de agua a temperatura ambiente.

Luego se procede a calcular el área de paneles requerida para esta aplicación. Ya se determinó anteriormente la velocidad del aire que pasa a través del panel, la misma que es de 400 fpm. Conociendo esta velocidad y el flujo total de aire, se calcula el área requerida:

### CALCULO DEL AREA DE LOS PANELES

$$A = \frac{Q}{V}$$

A = área de paneles, ft<sup>2</sup>

Q = flujo total de aire, cfm

V = velocidad del aire, fpm

$$A = \frac{180,720 \text{ cfm}}{400 \text{ fpm}} = 451.8 \text{ ft}^2$$

Debido a que el panel seleccionado es auto-soportante hasta una altura de 6 pies, se utilizará esta altura para el dimensionamiento del mismo. Considerando esta altura, se calcula el ancho del panel:

### CALCULO DEL ANCHO DE LOS PANELES

$$W = \frac{A}{H}$$

W = ancho total de los paneles, ft

A = área total de paneles, ft<sup>2</sup>

H = altura de los paneles, ft

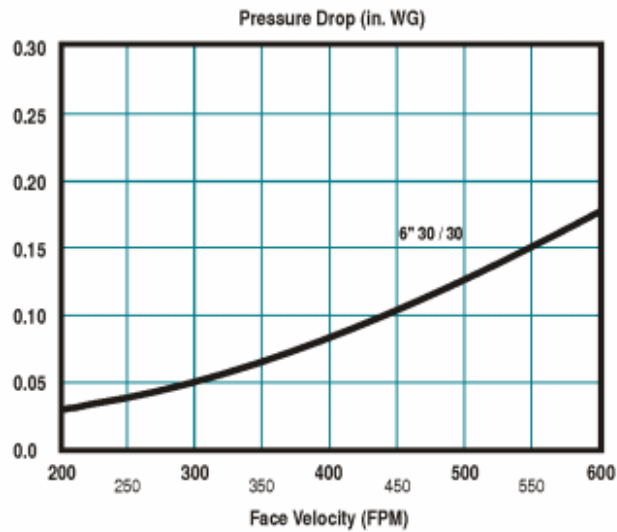
$$W = \frac{451.8 \text{ ft}^2}{6 \text{ ft}} = 75.3 \text{ ft}$$

Considerando que el área total de paneles se debe distribuir en ambos lados del galpón, en tamaños iguales, la longitud de cada panel lateral será de 38 pies.

### **Caída de presión a través del panel evaporativo**

Finalmente, se debe determinar la caída de presión que tendrá el aire al pasar a través de los paneles evaporativos. Esta caída de presión es determinante en la selección de los ventiladores, a más del flujo de aire requerido. Para determinar la caída de presión en el panel, se utiliza el gráfico proporcionado por el fabricante.





**FIGURA 2.9 CAIDA DE PRESION EN EL PANEL EVAPORATIVO**

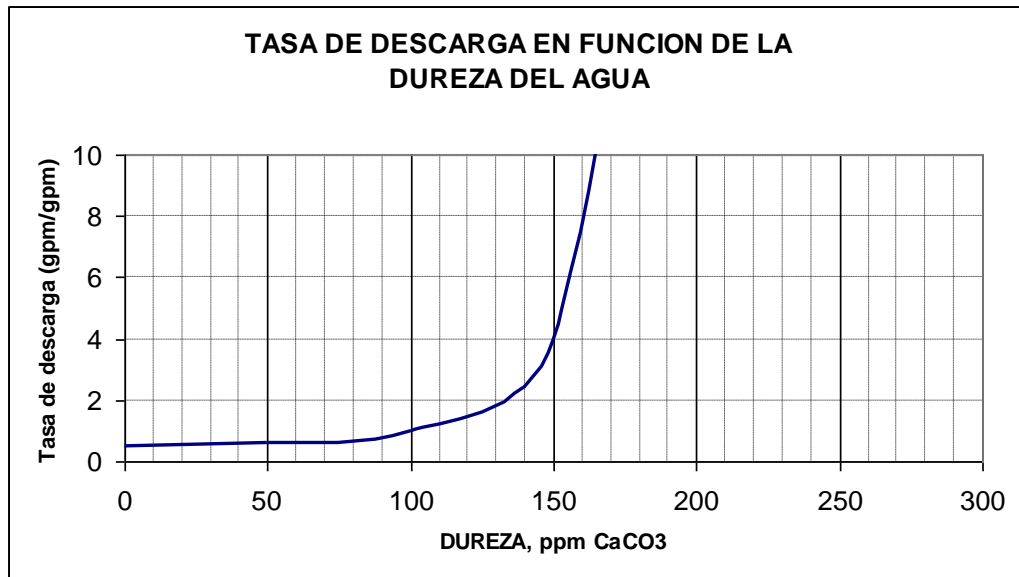
Del gráfico, se puede determinar que la caída de presión a través del panel evaporativo es de 0.08 pulgadas de agua. Para la selección de los ventiladores, se tomó una caída de presión de 0.10 pulgadas de agua, por lo que tanto la caída de presión obtenida en el panel como las pérdidas a lo largo del galpón están cubiertas.

#### **Sistema de recirculación de agua**

Para seleccionar el equipo de recirculación de agua, se debe calcular el flujo de alimentación de agua, que es igual al flujo de agua que se evapora, E, más el flujo que abandona el panel sin evaporarse, B.

$$A = E + B$$

El flujo de agua que abandona el panel sin evaporarse, se determina de acuerdo a la dureza del agua utilizada, medida en ppm de  $\text{CaCO}_3$ . Al no contar con una medida exacta de la dureza del agua en la granja, por recomendación del especialista encargado del asesoramiento técnico a la empresa, se ha utilizado un índice de 150 ppm de  $\text{CaCO}_3$ , el mismo que es lo suficiente alto como para proteger el diseño establecido. Con este índice y por medio del gráfico siguiente se determina la tasa de descarga, la misma que se define como la razón entre el flujo de descarga y el flujo de evaporación.



**FIGURA 2.10 TASA DE DESCARGA EN FUNCION DE LA DUREZA DEL AGUA**

Observando el gráfico, para una dureza de 150 ppm de  $\text{CaCO}_3$ , se tiene una tasa de descarga de 4, es decir, que la el flujo de descarga será 4 veces el flujo de evaporación:

$$BR = \frac{B}{E}$$

Donde:

BR = tasa de descarga

B = flujo de descarga, gpm

E = flujo de evaporación, gpm

Despejando, tenemos:

$$B = BR \times E$$

$$B = 4 \times 4.0 \text{ gpm} = 16 \text{ gpm}$$

Finalmente, el flujo de agua que tiene que debe suplir el sistema de recirculación, será:

$$A = B + E$$

Donde:

A = flujo de alimentación de agua, gpm

B = flujo de descarga, gpm

E = flujo de evaporación, gpm

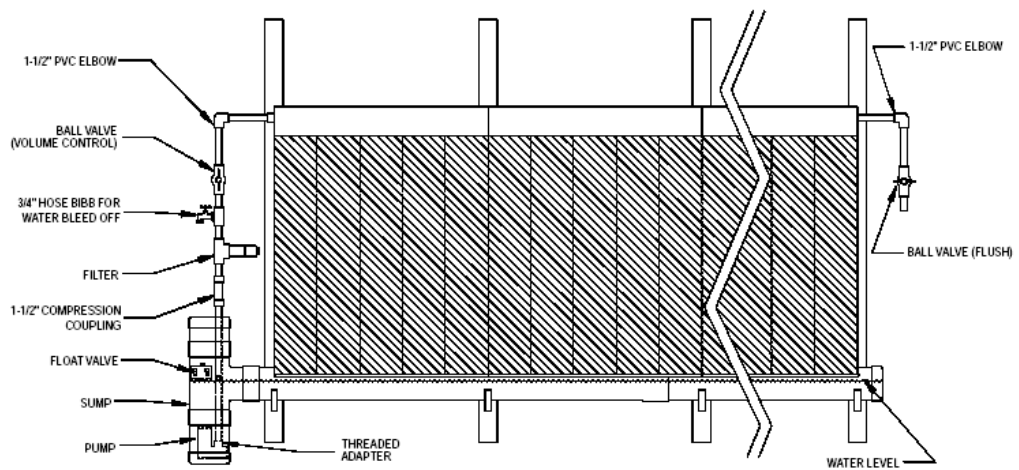
$$A = 16 \text{ gpm} + 4 \text{ gpm}$$

$$A = 20 \text{ gpm}$$

Es decir, que el sistema de recirculación se debe seleccionar de tal forma que provea 20 gpm de agua para humedecer los paneles evaporativos.

Una vez obtenido el flujo de agua requerido para humedecer los paneles evaporativos, se selecciona el sistema de recirculación de agua. Dado que los requerimientos de flujo y presión de agua son mínimos (flujo de apenas 20 gpm y presión para elevar el agua unos 2 metros), en este tipo de aplicación se utilizan sistemas de recirculación tipo paquete, diseñados para abastecer paneles de ancho entre 5 y 60 pies.

En este caso, dado que el ancho de cada panel lateral fue determinado en 38 pies, es decir, que se ubica en el rango citado anteriormente, se puede seleccionar un sistema de recirculación estándar, el mismo que está construido en PVC. En la siguiente figura se muestra un diagrama del sistema de recirculación instalado:



**FIGURA 2.11 SISTEMA DE RECIRCULACION DE AGUA**

### **Sistema de control**

Para esta aplicación se escogió un controlador THT (Temperatura, humedad, tiempo) de la firma Agri-Ventilation Systems, Inc., diseñado específicamente para galpones avícolas.

El controlador posee dos sensores, uno de temperatura y uno de humedad relativa. En base a los valores registrados por estos sensores, se controla la operación del sistema de recirculación de agua.

En el controlador se fija la temperatura a la cual se deben encender el sistema de recirculación de agua y el tiempo por el cual deberá operar. De igual forma, se fija

la temperatura máxima permitida en el galpón, de tal forma que si ésta es superada, el sistema de recirculación funcionará ininterrumpidamente hasta entrar en el rango de temperatura deseado.

De forma similar, los ventiladores cuentan con termostatos para determinar su punto de encendido en función de la temperatura. Por recomendación del asesor técnico asignado por el fabricante para la instalación de los equipos, se colocó un termostato por cada 2 ventiladores, de tal forma que al tener 8 ventiladores en el galpón, se puede programar el encendido en etapas de acuerdo al incremento de temperatura. Por ejemplo, si se alcanzan 24°C de temperatura, se encienden 2 ventiladores; si la temperatura sigue subiendo hasta alcanzar 26°C se encienden 2 ventiladores adicionales y así sucesivamente hasta completar los 8 ventiladores instalados.

El parámetro de temperatura fijado en el controlador THT del sistema de recirculación, siempre será por lo menos 3°C mayor al fijado en los termostatos de los ventiladores, de tal forma que cuando se empiece a humedecer los paneles evaporativos ya haya un flujo de aire evaporando el agua.

### **Carga térmica y capacidad de enfriamiento**

En el caso del diseño de un sistema de enfriamiento, la carga térmica es la cantidad de calor que se debe extraer de un ambiente determinado por unidad de tiempo, para poder bajar la temperatura del mismo a un nivel dado.

Este nivel de temperatura normalmente es determinado en función del confort que se quiera dar al ambiente en el caso de un área a ser ocupada por seres vivos o de la temperatura necesaria para la conservación de productos en el caso de salas de almacenamiento.

La temperatura ideal para la crianza de pollos al final del ciclo de producción es de 20 °C, la misma que se constituye en el objetivo a alcanzar por el sistema de enfriamiento. Sin embargo, dado que esta temperatura es mucho menor que la temperatura de bulbo húmedo del aire de entrada, el sistema de enfriamiento evaporativo no podría alcanzar la temperatura ideal para la crianza de pollos.

Por lo antes expuesto, las dimensiones del sistema de enfriamiento evaporativo se determinaron a partir del flujo de aire suministrado por el sistema de ventilación, el mismo que se calculó a partir de los requerimientos de ventilación especificados en el manual de crianza de pollos.

Al contar con un sistema de enfriamiento ya dimensionado, se procederá a calcular la carga térmica del sistema (galpón y pollos) y a partir de ella, se determinará la temperatura a la que llegará el galpón con el sistema de ventilación y enfriamiento previamente calculados.

### **Cálculo de la carga térmica**

La carga térmica en el galpón, está dada por dos factores: la ganancia de calor generada por los pollos presentes en el galpón y la originada por las paredes (cortinas) y el techo, ambos funcionando como un aislante térmico.

La ganancia de calor originada por los pollos, se calcula de forma similar a la ganancia de calor por presencia de personas. Una persona de 70 kg en reposo genera una ganancia de calor total de 150 W. Para determinar la ganancia de calor de la biomasa de pollos, se toma la población total en el galpón, la misma que asciende a 12.000 pollos. Se considera una mortalidad del 5% y un peso promedio de 2.5 kg por pollo. A continuación se detalla el cálculo de la ganancia total de calor de los pollos:

$$Q = N_{pers} \times Q_p$$

Donde:

Q = ganancia total de calor de los pollos

$N_{pers}$  = número de personas equivalente al número de pollos

$Q_p$  = ganancia total de calor para una persona de 70 kg

$$N_{pers} = \frac{N \times V \times 2.5kg}{70kg}$$

Donde:

N = Cantidad de pollos al iniciar el ciclo de producción

V = Porcentaje de supervivencia estimado

Para N = 12,000 pollos y V = 95%, tenemos:

$$N_{pers} = \frac{12,000 \times 95\% \times 2.5kg}{70kg}$$

$$N_{pers} = 407$$

Para  $Q_p = 150$  W, tenemos:

$$Q = 407 \times 150W$$

$$Q = 61.05kW$$

La ganancia de calor a través de las paredes y el techo del galpón se calculan con la siguiente ecuación:

$$Q = A \times U \times CLTD$$

Donde:

Q = ganancia de calor a través de la estructura (paredes y techo)

U = coeficiente total de transferencia de calor

CLTD = diferencial de temperatura por carga térmica

El coeficiente total de transferencia de calor, U, es una propiedad del material de construcción y de aislamiento. En esta aplicación es igual a  $0.47 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ .

El valor de CLTD es el máximo obtenido de la tabla siguiente:

**TABLA 12**  
**VALORES DE CLTD PARA LAS DIFERENTES HORAS DEL DIA**

<b>2. Hora</b>	<b>3. CLTD °C</b>
<b>4. 1</b>	<b>5. 1</b>
<b>6. 2</b>	<b>7. 0</b>
<b>8. 3</b>	<b>9. -1</b>
<b>10. 4</b>	<b>11. -1</b>
<b>12. 5</b>	<b>13. -1</b>
<b>14. 6</b>	<b>15. -1</b>
<b>16. 7</b>	<b>17. -1</b>
<b>18. 8</b>	<b>19. 0</b>
<b>20. 9</b>	<b>21. 1</b>
<b>22. 10</b>	<b>23. 2</b>
<b>24. 11</b>	<b>25. 4</b>
<b>26. 12</b>	<b>27. 5</b>
<b>28. 13</b>	<b>29. 7</b>
<b>30. 14</b>	<b>31. 7</b>
<b>32. 15</b>	<b>33. 8</b>
<b>34. 16</b>	<b>35. 8</b>
<b>36. 17</b>	<b>37. 7</b>
<b>38. 18</b>	<b>39. 7</b>
<b>40. 19</b>	<b>41. 6</b>
<b>42. 20</b>	<b>43. 4</b>
<b>44. 21</b>	<b>45. 3</b>
<b>46. 22</b>	<b>47. 2</b>

Estos valores de CLTD están dados para una temperatura interior de 25.5°C y una temperatura exterior de 29.4°C. Para corregir estos valores, se utiliza la siguiente ecuación:

$$CLTD_c = CLTD + \left[ \frac{5.5 - T_i}{5.5 - 25.5} \right] (29.4 - T_e)$$

Donde:

$CLTD_c$  = CLTD corregido

CLTD = Valor tomado de la tabla

$T_i$  = temperatura interior del galpón

$T_e$  = temperatura exterior del galpón

Para determinar el valor corregido del diferencial de temperatura por carga térmica, se ha tomado el valor más alto de la tabla, de tal forma que se considere en el diseño el mayor diferencial de temperatura durante el día. La temperatura interior del galpón se estima en 27.9°C que es la temperatura del aire a la salida del panel evaporativo. Se toma este valor puesto que se puede asumir que en estado estable, la temperatura en el interior del galpón se aproximará a él. La temperatura exterior es de 32°C. Tomando estos valores, tenemos que  $CLTD_c$  es igual a 8.2°C.

Luego se calcula el área de paredes y techo del galpón, en base a las dimensiones del mismo estipuladas en la tabla 6. El área total de paredes y techo es de 2,073 m<sup>2</sup>.

Reemplazando los valores anteriores en la ecuación, tenemos:

$$Q = 2,073 m^2 \times 0.47 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \times 8.2^\circ C$$

$$Q = 7.99 kW$$

Esta es la ganancia de calor por paredes y techo. Sumando las ganancias totales por los pollos y la estructura, se tiene la carga térmica total del galpón y los pollos, la misma que equivale a: 69.04 kW o 235,576 BTU/hora.

Una vez determinada la carga térmica total, se procede a hacer el balance de energía del sistema para de ahí determinar la temperatura final en el interior del galpón:

$$Q_{AIRE} = Q_{POLLOS} + Q_{ESTRUCTURA}$$

$$\dot{m}_A \times c_{pA} (T_2 - T_1) = 69.04 kW$$

Donde:

$Q_{AIRE}$  = Calor ganado por el flujo de aire desde la entrada a través del panel evaporativo hasta la salida a través de los ventiladores

$Q_{\text{POLLOS}}$  = Carga térmica ocasionada por la biomasa de pollos

$Q_{\text{ESTRUCTURA}}$  = Carga térmica por la ganancia a través de las paredes y techo del galpón

$m_A$  = flujo de masa de aire a través del galpón

$C_{pA}$  = calor específico del aire a 82.3 °F

$T_2$  = temperatura final del aire

$T_1$  = temperatura inicial del aire

Se conocen todos los valores exceptuando  $T_2$ , que es la temperatura final del galpón y la que se desea conocer. Despejando  $T_2$  de la ecuación anterior, tenemos:  
 $T_2 = 83.6$  °F, o,  $28.7$  °C

Esta es la temperatura final que se alcanzaría al interior del galpón con el sistema de ventilación y enfriamiento evaporativo instalados. Aunque no es la temperatura ideal para la crianza de pollos, influirá en la disminución de la mortalidad y el aumento en el aprovechamiento del alimento balanceado utilizado.

## **2.5 La productividad con las nuevas condiciones**

Una vez instalados los equipos, se iniciaron los ciclos de producción bajo las nuevas condiciones, esto es, contando con el sistema de ventilación por túnel y enfriamiento evaporativo en funcionamiento.

Para cuantificar el beneficio obtenido luego de la implantación del sistema, se ha tomado como muestra los lotes de producción de la estación invernal del año 2004, para compararlos con los obtenidos en la misma estación del año 2003, presentados anteriormente en la tabla 5.

A continuación se muestran los resultados obtenidos en los lotes de producción correspondientes al invierno del año 2004:



**TABLA 13****PARÁMETROS DE PRODUCCIÓN – INVIERNO 2004**

48. 49. Parámetro	50. 51. 05- 01-C	52. 53. 01-04- A	54. 55. 01- 04-B	56. 57. 01-04- C	58. 59. PROMED IO
60. Aves Ingresadas	61. 11,7 31	62. 26,00 0	63. 23,0 00	64. 38,00 0	65. 98,731
66. Aves Finales	67. 11,0 95	68. 25,32 6	69. 21,9 28	70. 35,02 1	71. 93,370
72. Peso Final Lote (kg)	73. 24,7 88	74. 59,68 5	75. 49,5 98	76. 79,88 2	77. 213,953
78. Alimento consumido lote (kg)	79. 48,3 60	80. 109,2 00	81. 91,4 80	82. 151,3 20	83. 400,360
84. Mortalidad (%)	85. 5.4%	86. 2.6%	87. 4.7%	88. 7.8%	89. 5.4%
90. Peso promedio por pollo (kg)	91. 2.23	92. 2.36	93. 2.26	94. 2.28	95. 2.29
96. Conversión alimenticia	97. 1.95	98. 1.83	99. 1.84	100.1.89	101.1.87

Si comparamos los índices de productividad promedio entre el invierno del año 2003 y el mismo período para el año 2004, veremos que la mortalidad disminuyó del 9.8% al 5.4%, el peso promedio por pollo se incrementó en un 6% de 2.16 kg a 2.29 kg, y como efecto final de los dos

índices anteriores, la conversión alimenticia disminuyó de 2.16 a 1.87, es decir en un 13.4%.

En el capítulo siguiente se evaluará técnica y económicamente las mejoras en los parámetros de producción obtenidos.

## Capitulo 3

Al reducirse la mortalidad, se mejoró el índice de conversión alimenticia, puesto que se produjeron más kilogramos de pollo con menor cantidad de alimento.

### **3.2 Incremento de la densidad**

Cuando se tienen altas temperaturas ambientales, una de las medidas a tomar para atenuar el efecto del calor sobre los pollos es disminuir la densidad de población. Al tener mayor cantidad de pollos en una misma unidad de área, aumenta la cantidad de calor generada por la biomasa, y por ende aumenta la temperatura al nivel de las aves.

A pesar de que esta disminución en la densidad de población ayuda a disminuir la mortalidad, hace que la explotación avícola sea ineficiente,

puesto que los costos fijos asociados a un galpón de producción se dividirán entre menos pollos y por ende entre menos kilogramos de carne producida, encareciendo el costo unitario de producción.

Entre los costos que se incrementan al disminuir la densidad de población en un galpón avícola, tenemos:

**Mano de obra directa.**- puesto que un mismo galponero en lugar de atender 12,000 pollos, atenderá sólo 9,000.

**Depreciación de la infraestructura física.**- el gasto por depreciación del galpón, instalaciones eléctricas y de agua potable, comederos y bebederos, equipos de calefacción y cortinas se cargará a una menor cantidad de kilogramos a producir.

**Gastos operacionales.**- los gastos por energía eléctrica, remuneración de staff de producción, gastos administrativos y gastos de ventas, se distribuirán de igual forma en una menor cantidad de kilogramos a producir.

Una vez instalados los equipos de ambiente controlado, se hizo varios ensayos para determinar la densidad de población adecuada a la nueva infraestructura.

En las condiciones anteriores, la densidad máxima colocada durante la estación invernal era de 9 pollos por metro cuadrado. Una vez instalados los equipos se hizo pruebas con 10, 11, 12, 13 y 14 pollos por metro cuadrado, dando como resultado que para lograr el peso promedio requerido por el Departamento de Ventas de la empresa, la densidad óptima para trabajar en la estación invernal es de 12 pollos por metro cuadrado, esto significa un 33% adicional en relación con las condiciones previas.

### **3.3Mejoramiento del peso obtenido**

Adicionalmente a la reducción de la mortalidad y el incremento en la densidad poblacional de la granja, el mejoramiento de la temperatura en el interior del galpón, hizo que aumenten las horas de alimentación por día.

Bajo las condiciones anteriores, se suspendía la provisión de alimento balanceado desde las 09h00 hasta las 19h00 en promedio durante la

estación invernal. Esta medida se tomaba debido a que durante la digestión, el organismo del pollo genera gran cantidad de calor, que hace aumentar la temperatura corporal hasta el punto de ocasionar mortalidad por estrés calórico.

Al lograr bajar la temperatura en hasta 8 grados centígrados, se puede alimentar al pollo durante más horas en el día. La suspensión de alimento balanceado se hace apenas desde las 10h00 hasta las 16h00, es decir un 40% menos que en las condiciones anteriores. Esto trae consigo que para el mismo tiempo de producción se obtenga un peso promedio de 2.29 kg frente a 2.26 kg obtenidos antes de la implantación del proyecto.

Esto significa un incremento del 6% en el peso final, el mismo que es directamente proporcional a los ingresos por ventas obtenidos.

### **3.4 Beneficio económico obtenido en un lote modelo**

Para cuantificar el beneficio que se obtiene al implementar un sistema de ambiente controlado, se ha procedido a comparar la situación previa y la situación actual tomando como modelo un galpón estándar de 1,000 metros cuadrados, en el que bajo las condiciones previas se ingresaban 9,000 pollos y bajo las condiciones actuales se ingresan 12,000 pollos.

En el cuadro siguiente se muestra el cálculo de los principales parámetros de producción para el lote modelo, así como los ingresos obtenidos y el costo del alimento balanceado, el mismo que constituye el mayor rubro de costos en una explotación avícola.

Como se puede observar en la tabla 7 , los ingresos por ventas aumentan en un 48%, esto se debe principalmente al aumento en la densidad de población, disminución de la mortalidad e incremento en el peso final del pollo.

**TABLA 13**

**COMPARACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE PRODUCCIÓN BAJO LAS CONDICIONES PREVIAS Y ACTUALES**

<b>101.1 PARAMETRO DE PRODUCCION</b>	<b>101.2 ANTERIOR</b>	<b>101.3 AMB. CONT.</b>
<b>101.4 Aves Ingresadas</b>	<b>101.5 9,000</b>	<b>101.6 12,000</b>
<b>101.7 Temperatura en el galpón</b>	<b>101.8 32.0 °C</b>	<b>101.9 27.9 °C</b>
<b>101.10 Mortalidad (%)</b>	<b>101.11 9.8%</b>	<b>101.12 5.4%</b>
<b>101.13 Aves Finales</b>	<b>101.14 8,118</b>	<b>101.15 11,348</b>
<b>101.16 Peso promedio por pollo (kg)</b>	<b>101.17 2.16</b>	<b>101.18 2.29</b>
<b>101.19 Peso Total Lote (kg)</b>	<b>101.20 17,569.71</b>	<b>101.21 26,004.39</b>
<b>101.22 Precio promedio por kg de pollo</b>	<b>101.23 1.14</b>	<b>101.24 1.14</b>
<b>101.25 Total ingresos por ventas (USD)</b>	<b>101.26 20,0 29.47</b>	<b>101.27 29,6 45.01</b>
<b>101.28 Conversión alimenticia</b>	<b>101.29 2.16</b>	<b>101.30 1.87</b>

<b>101.31</b> Alimento a consumir (kg)	<b>101.32</b> 43,283.40	<b>101.33</b> 55,473.20
<b>101.34</b> Costo por kg de alimento (USD)	<b>101.35</b> 0.34	<b>101.36</b> 0.34
<b>101.37</b> Costo del alimento (USD)	<b>101.38</b> 14,6 08.15	<b>101.39</b> 18,7 22.21

Por su parte el aumento en el costo del alimento balanceado es de apenas un 28%, el mismo que se da básicamente debido al incremento en la densidad de población, puesto que por efecto de la menor conversión alimenticia, el costo del alimento balanceado requerido para producir un kilogramo de carne de pollo es menor.

El beneficio obtenido por aumento en los ingresos por ventas para el lote modelo es de US\$ 9,615.54 y el aumento en el costo de producción para el mismo lote es de US\$ 4,114.06. Esto resulta en un beneficio neto de US\$ 5,501.48 por cada lote de producción.

El costo total de instalación de un sistema de ambiente controlado por medio de paneles evaporativos, es de US\$ 25,987.54, el mismo que incluye el costo de los equipos y de la instalación.

Para analizar económicamente el proyecto y determinar su viabilidad, tomamos como inversión los US\$ 25,987.54 que cuesta implementar un sistema de ambiente controlado en un galpón y como ingresos los US\$ 5,501.48 que se obtienen como beneficio neto en cada lote de producción. Cada lote de producción completo tiene una duración de 60 días. Con esta información, se proyectó el flujo de caja del lote modelo, para poder determinar la viabilidad del proyecto.

A continuación se presenta el flujo de caja proyectado y los parámetros económicos determinados: tasa interna de retorno y valor actual neto, para un período de un año, esto es, cinco lotes de producción.

**TABLA 14**

**FLUJO DE CAJA PROYECTADO, VALOR ACTUAL NETO Y TASA INTERNA DE RETORNO**

<b>101.40 Fechas</b>	<b>101.41 Valores</b>
<b>101.42 13-Nov-03</b>	<b>101.43 -25,987.54</b>
<b>101.44 12-Ene-04</b>	<b>101.45 5,501.48</b>
<b>101.46 12-Mar-04</b>	<b>101.47 5,501.48</b>
<b>101.48 11-May-04</b>	<b>101.49 5,501.48</b>
<b>101.50 10-Jul-04</b>	<b>101.51 5,501.48</b>
<b>101.52 08-Sep-04</b>	<b>101.53 5,501.48</b>
<b>101.54 07-Nov-04</b>	<b>101.55 5,501.48</b>
<b>101.56</b>	<b>101.57</b>
<b>101.58 Valor Actual Neto</b>	<b>101.59 6,110.62</b>
<b>101.60 Tasa interna de</b>	<b>101.61 53%</b>



retorno	
---------	--

El valor actual neto del proyecto es altamente positivo (US\$ 6,110.62) al igual que su tasa interna de retorno (53%), por lo que la inversión realizada se justifica completamente y se recomienda su implantación en otras granjas o empresas avícolas que presenten similares condiciones ambientales.

## Capitulo 4

- El peso del pollo obtenido al final del ciclo de producción aumentó, debido a que al mejorar la temperatura del galpón, se pudo incrementar la cantidad de horas de alimentación por día.
- La disminución de la mortalidad y el incremento en el peso influyen en el mejoramiento del índice de conversión alimenticia, la misma que bajo de 2.16 a 1.87. Este es un indicador de productividad que se refleja directamente en el resultado económico de la explotación avícola, como se pudo observar al determinar el valor actual neto del proyecto y su tasa interna de retorno.

### 4.2 Recomendaciones

- Se recomienda a la empresa implementar sistemas de ambiente controlado en todas sus granjas ubicadas en el sector costero de la provincia, y en general, en cualquier zona de clima caluroso, puesto que los beneficios económicos obtenidos son considerablemente altos y la inversión es de rápida recuperación.
- Una vez instalados los sistemas, se recomienda capacitar al personal de granja sobre el uso del equipo, específicamente en la regulación de los controladores. Esta tarea a pesar de ser muy sencilla, es fundamental para que el equipo brinde óptimos resultados.
- De igual forma se recomienda la contratación de asesoría técnica periódica (por lo menos cada 6 meses) para asegurarse que el equipo funcione correctamente y el personal lo opere adecuadamente.
- Antes de comprar los equipos, se recomienda analizar y determinar las adecuaciones previas que se debe realizar en el galpón, tales como sellado del galpón, reubicación de bodegas o instalaciones, si fuere necesario, puesto que estas tareas toman tiempo y podrían hacer que los equipos comprados no se puedan instalar de inmediato, ocasionando un lucro cesante para la empresa.

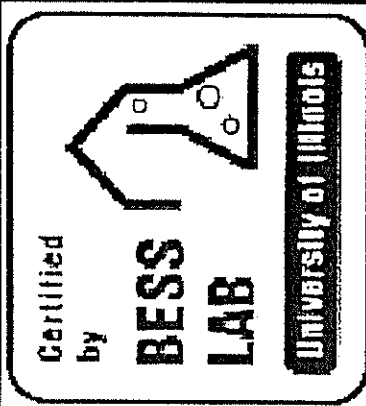
- Como en todo proyecto de inversión, se recomienda designar por parte de la empresa un líder que sea responsable del cumplimiento a cabalidad de los objetivos trazados. Este líder deberá contar con el suficiente respaldo por parte de la Administración de la empresa para hacer cuanto sea necesario por implementar el proyecto satisfactoriamente.

## APENDICE A

CARACTERÍSTICAS DE LOS VENTILADORES AMERICAN  
COOLAIR TIPO NEF

# PERFORMANCE RATINGS

The performance ratings listed below (Item numbers 1-8) were obtained through testing by the Bioenvironmental and Structural Systems Lab (BESS Lab) at the University of Illinois. All fans were tested with a shutter and discharge guard, and some may also include an optional discharge cone as noted in the fan description. The fan housing was mounted flush to the test chamber face, as in an actual building installation. Power measurements were taken on the fan/motor combination and include motor efficiency and drive losses.



## NEF FAN, SLOPE WALL HOUSING, INLET SHUTTER & GUARD

ITEM NO.	FAN MODEL	FAN SIZE	BESS LAB TEST #	MOTOR HP	FAN RPM @ .05"	CUBIC FEET PER MINUTE (CFM) AT STATIC PRESSURE											
						0" S.P.		.05" S.P.		.10" S.P.		.15" S.P.		.20" S.P.			
						CFM	WATT	CFM	WATT	CFM	WATT	CFM	WATT	CFM	WATT		
1	MNEF52K		01107	3/4	405	20,765	27.0	19,104	24.5	17,073	21.2	14,268	17.1	10,656	12.3		
2	MNEFE52L	52	01205	1	440	23,021	23.1	21,574	20.8	19,807	18.4	17,743	16.1	14,883	13.1		
3	MNEFE52L		01204	1	463	23,782	22.0	22,415	19.7	20,750	17.6	18,939	15.5	16,195	13.1		
4	MNEFS2M		01208	1-1/2	500	25,742	20.1	24,369	18.3	23,100	17.0	21,423	15.2	19,381	13.4		

## NEF FAN, SLOPE WALL HOUSING, INLET SHUTTER, GUARD & CONE

5	MNEFCS2K		01221	3/4	404	23,423	35.2	20,755	28.2	17,604	22.7	13,517	15.2	7,354	8.1
6	MNEFEC52L	52	01228	1	440	25,763	28.8	24,277	25.7	21,304	20.7	18,906	17.4	15,580	13.8
7	MNEFCS2L		01225	1	464	26,608	28.0	24,390	23.6	22,590	20.4	20,209	17.4	17,132	14.2
8	MNEFCS2M		01232	1-1/2	500	28,771	25.3	27,030	21.6	25,505	20.2	22,712	17.0	20,170	14.3



CIB-ESPOL

## **BIBLIOGRAFIA**

1. Ross Breeders: Broiler Management Manual, 2002, Ross Breeders Limited
2. Hybro PG broiler Management Guide, 2002, Hybro B. V.
3. Castello José, Franco Fernando, García Enrique, Pontes Miguel, Vaquerizo José, Villegas Francisco; Producción de Carne de Pollo, 1991, 1ª edición, Real Escuela de Avicultura
4. Faires Virgil M., Simmang Clifford M., Termodinámica, 1993, Editorial Limusa, S.A. de C.V.
5. Industrial Ventilation, American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Inc., 1995
6. R. S. Johnson, Sr. P.E., The theory and operation of evaporative coolers for industrial gas turbine installations, 1988, The American Society of Mechanical Engineers, ASME