

# ÍNDICE GENERAL

<b>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1 ANTECEDENTES Y MOTIVACIÓN.....	2
1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA .....	3
1.3 SOLUCIÓN DEL PROBLEMA .....	3
1.4 OBJETIVOS .....	4
1.4.1 Objetivo General .....	4
1.4.2 Objetivos Específicos.....	4
1.5 ALCANCES .....	4
1.6 METODOLOGÍA Y HERRAMIENTAS UTILIZADAS .....	5
1.7 RESULTADOS TANGIBLES.....	5
1.8 ORGANIZACIÓN DOCUMENTO.....	6
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>7</b>
2.1 MECÁNICA DE FLUIDOS.....	8
2.1.1 Densidad y Peso Específico .....	8
2.1.2 Viscosidad.....	8
2.1.2.1 Viscosidad Dinámica.....	9
2.1.2.2 Viscosidad Cinemática .....	9
2.1.3 Flujo másico y caudal volumétrico .....	9
2.1.4 Flujo Laminar y turbulento .....	10
2.1.4.1 Flujo Laminar .....	10
2.1.4.2 Flujo Turbulento .....	11
2.1.5 Capa Límite.....	11
2.1.6 Teorema de Bernoulli.....	12
2.1.7 Presión Estática, Dinámica y de Estancamiento .....	13
2.1.8 Análisis Dimensional y Modelado .....	13
2.1.8.1 Dimensiones y unidades.....	13
2.1.8.2 Análisis dimensional y similitud .....	14
2.1.8.3 Teorema de Pi de Buckingham .....	17
2.1.8.4 Parámetros Adimensionales Importantes.....	18
2.1.8.5 Numero de Reynolds .....	18
2.1.8.6 Número Mach .....	18
2.1.8.7 Número de Froud.....	19
2.1.8.8 Pruebas Experimentales y Similitud Incompleta .....	19
2.1.9 Flujo Compresible e Incompresible.....	20
2.2 TÚNEL DE VIENTO .....	20
2.2.1 Clasificación Túneles de viento .....	21
2.2.2 Por la circulación de aire en su interior.....	21

2.2.2.1 Circuito abierto .....	21
2.2.2.2 Circuito cerrado.....	22
2.2.3 Por la velocidad de flujo en su interior .....	23
2.2.3.1 Túnel de viento Subsónico .....	23
2.2.3.2 Túnel de viento Transónico .....	23
2.2.3.3 Túnel de viento Supersónico .....	23
2.2.3.4 Túnel de viento Hipersónico .....	23
2.2.4 Descripción General de un Túnel de Viento Circuito Cerrado.....	24
2.2.5 Descripción General de un Túnel de Viento Circuito Abierto .....	24
2.2.6 Partes o zonas en túnel de circuito abierto.....	25
2.2.6.1 Zona de estabilización o cámara de ajustes .....	26
2.2.6.2 Zona o cono de contracción .....	26
2.2.6.3 Sección de prueba .....	27
2.2.6.4 Difusor.....	27
2.2.6.5 Ventilador .....	27
<b>CAPÍTULO III: ALTERNATIVAS Y CRITERIOS DE DISEÑO .....</b>	<b>30</b>
3.1 ALTERNATIVAS DE DISEÑO .....	31
3.1.1 Circuito Abierto o Cerrado .....	31
3.1.1.1 Ventajas y Desventajas de Túneles de Circuito Abierto.....	31
3.1.1.2 Ventajas y Desventajas de Túneles de Circuito Cerrado .....	32
3.1.2 Tipo de Accionamiento.....	33
3.1.3 Sección de Prueba Abierta o Cerrada .....	34
3.2 CRITERIOS Y CONSIDERACIONES DE DISEÑO .....	35
3.2.1 Cámara de Pruebas .....	35
3.2.1.1 Parámetros y pérdidas.....	35
3.2.2 Difusor .....	36
3.2.2.1 Parámetros y pérdidas.....	37
3.2.3 Pantallas de mallas .....	38
3.2.3.1 Parámetros y pérdidas.....	39
3.2.4 Pantallas de panal o colmena.....	40
3.2.4.1 Parámetros y pérdidas.....	41
3.2.5 Cámara de Estabilización o Ajustes .....	43
3.2.5.1 Parámetros y pérdidas.....	43
3.2.6 Cono de Contracción .....	43
3.2.6.1 Parámetros y pérdidas.....	44
3.2.7 Pérdida Global .....	46
3.2.8 Selección Propulsión.....	47
3.3 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO .....	47
3.3.1 Dimensiones cámara de pruebas .....	48

3.3.2 Dimensiones difusor.....	48
3.3.3 Dimensiones Cono de Contracción .....	48
3.3.4 Dimensiones Cámara de Ajustes o Estabilizadora.....	48
3.3.5 Selección ventilador .....	49
<b>CAPÍTULO IV: DISEÑO TÚNEL DE VIENTO SUBSÓNICO DE CIRCUITO ABIERTO .....</b>	<b>50</b>
4.1 CONDICIONES INICIALES DEL FLUJO .....	51
4.1.1 Condición de Flujo Incompresible.....	51
4.2 CÁLCULOS DE DISEÑO DEL TÚNEL .....	52
4.2.1 Iteración N°1 .....	54
4.2.2 Iteración N°2 .....	61
4.2.3 Iteración N°3 .....	66
<b>CAPÍTULO V: RESULTADOS OBTENIDOS .....</b>	<b>68</b>
5.1 RESULTADOS OBTENIDOS: DISEÑO TÚNEL DE VIENTO .....	69
5.2 RESULTADOS OBTENIDOS: CARACTERÍSTICAS Y PLANIMETRÍA DEL TÚNEL DE VIENTO.....	72
<b>CAPÍTULO VI: ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>75</b>
6.1 ITERACIONES.....	76
<b>CAPÍTULO VII: INSTRUMENTACIÓN Y EQUIPOS .....</b>	<b>79</b>
7.1 CONTROL DE VELOCIDAD.....	80
7.1.1 Variador de Frecuencia.....	80
7.2 MEDICIÓN DEL FLUJO.....	81
7.2.1 Tubo Pitot.....	81
7.2.1.1 Tubo Pitot estándar, tipo L.....	81
7.2.1.2 Tubo Pitot tipo S .....	82
7.2.2 Anemómetros.....	82
7.2.2.1 Funcionamiento .....	82
7.2.2.2 Clasificación de los anemómetros.....	83
7.3 MEDICIÓN DE PRESIÓN.....	83
7.4 SENSORES .....	84
7.4.1 Sensores para automoción .....	84
7.4.2 Sensores de caudal de aire .....	84
7.4.3 Sensores de corriente .....	84
7.4.4 Sensores de humedad.....	84
7.4.5 Sensores de presión y fuerza .....	85
7.4.6 Sensores de temperatura .....	85
7.5 CÁMARAS.....	85
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>86</b>
CONCLUSIONES.....	87
RECOMENDACIONES .....	88
Programas Computacionales.....	89

PROYECCIONES DEL TRABAJO.....	89
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>91</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>93</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>95</b>
ANEXO A .....	96
Pantalla de malla.....	96
ANEXO B .....	97
Iteración N°2 .....	97
ANEXO C .....	103
Iteración N°3 .....	104
ANEXO D .....	110
Catálogo Ventilador HPX/SEC de Sodeca .....	110
ANEXO E .....	112

# ÍNDICE DE TABLAS

Tabla II.1. Dimensiones Primarias (1).....	14
Tabla II.2. Ejemplos de parámetros y sus dimensiones (5).....	17
Tabla IV.1 Condiciones iniciales de flujo de entrada .....	51
Tabla IV.2 Iteración N°1 - Criterios .....	54
Tabla IV.3 Iteración N°1 - Sección 1 .....	55
Tabla IV.4 Iteración N°1 - Factor de fricción Sección 1 .....	55
Tabla IV.5 Iteración N°1 – Sección 2 .....	56
Tabla IV.6 Iteración N°1 – Sección 3 .....	56
Tabla IV.7 Iteración N°1 – Ecuación Bell-Mehta Sección 3.....	57
Tabla IV.8 Iteración N°1 – Factor de fricción Sección 3 .....	58
Tabla IV.9 Iteración N°1 – Sección 4 .....	59
Tabla IV.10 Iteración N°1 - Pérdidas secciones .....	59
Tabla IV.11 Iteración N°1 - Requerimientos ventilador.....	60
Tabla IV.12 Iteración N°1 - Curva característica del sistema .....	60
Tabla IV.13 Iteración N°1 - Dimensiones túnel de viento .....	61
Tabla IV.14 Iteración N°2 – Criterios .....	63
Tabla IV.15 Iteración N°2 - Dimensiones túnel de viento para selección ventilador .....	64
Tabla IV.16 Dimensión túnel subsónico de circuito abierto .....	66
Tabla V.1 Resultado obtenido Iteración N°1 .....	70
Tabla V.2 Resultados obtenidos Iteración N°2 .....	70
Tabla V.3 Resultados obtenidos Iteración N°3 .....	71
Tabla V.4 Características principales ventilador seleccionado.....	72
Tabla VI.1 Coeficientes de pérdida - Iteración N°1.....	76
Tabla VI.2 Pérdidas secciones - Iteración N°1 .....	76
Tabla VII.0.1 Iteración N°1 - Sección 1 .....	97
Tabla VII.0.2 Iteración N°2 - Factor de fricción sección 1.....	97
Tabla VII.0.3 Iteración N°2 - Sección 2.....	98
Tabla VII.0.4 Iteración N°2 - Sección 3.....	98
Tabla VII.0.5 Iteración N°2 - Ecuación Bell – Mehta.....	99
Tabla VII.0.6 Iteración N°2 - Factor de fricción sección 3.....	100
Tabla VII.0.7 Iteración N°2 - Sección 4.....	101
Tabla VII.0.8 Iteración N°2 - Pérdidas por sección .....	102
Tabla VII.0.9 Iteración N°2 – Requerimientos Sección 5.....	102
Tabla VII.0.10 Iteración N°2 - Curva característica del sistema .....	102
Tabla 0.11 Iteración N°3 - Sección 1 .....	104

Tabla 0.12 Iteración N°3 - Factor fricción sección 1 .....	104
Tabla 0.13 Iteración N°3 - Sección 2 .....	105
Tabla 0.14 Iteración N°3 - Factor de fricción sección 2 .....	105
Tabla 0.15 Iteración N°3 - Sección 3 .....	106
Tabla 0.16 Iteración N°3 - Ecuación Bell – Mehta .....	106
Tabla 0.17 Iteración N°3 - Factor de fricción sección 3 .....	108
Tabla 0.18 Iteración N°3 - Sección 4 .....	108
Tabla 0.19 Iteración N°3 - Pérdidas por sección .....	109
Tabla 0.20 Iteración N°3 - Requerimientos ventilador .....	109

# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura II.1 Líneas flujo laminar en perfil NACA (3) .....	10
Figura II.2 Desarrollo de un flujo a través de diferentes posiciones perfil NACA (3).....	11
Figura II.3. Capa limite perfil de velocidades (3).....	12
Figura II.4. Similitud dimensional (1).....	16
Figura II.5 Túnel de viento circuito abierto (3) .....	22
Figura II.6 Túnel de viento circuito cerrado (4) .....	22
Figura II.7 Identificación partes túnel de viento circuito cerrado (6) .....	24
Figura II.8 Identificación partes en túnel de viento circuito abierto (6) .....	25
Figura II.9. Túnel de viento tipo soplador (6) .....	25
Figura II.10. Zonas características de un túnel de viento abierto (11) .....	25
Figura II.11. Tipos de álabes de ventiladores centrífugos .....	28
Figura III.1 Placa motor a utilizar .....	31
Figura III.2 Geometría difusor y notación (6) .....	37
Figura III.3 Ejemplo de pantalla de malla y nomenclatura (9) .....	40
Figura III.4 Tipos de forma de pantallas de panal (6) .....	41
Figura III.5 Pantalla de panal hexagonal y nomenclatura (14) .....	42
Figura III.6 Forma de contracción y nomenclatura (14).....	45
Figura III.7 Aplicación Bernoulli en túnel de viento (4) .....	47
Figura IV.1 Planilla de cálculo Excel.....	52
Figura IV.2 Esquema y numeración secciones túnel.....	53
Figura IV.3 Características ventilador modelo HPX/SEC .....	62
Figura IV.4 Curva característica ventilador con datos requeridos por túnel.....	65
Figura IV.5 Características técnicas del ventilador HPX/SEC.....	65
Figura V.1 Vista isométrica túnel de viento.....	73
Figura V.2 Vista perfil derecho.....	73
Figura VII.1 Tubo pitot tipo L (10) .....	81
Figura VII.2 Tubo de pitot tipo S (10).....	82

# ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico IV.1 Iteración N°1 – Curva de formal cono de contracción .....	57
Gráfico IV.2 Iteración N°1 - Curva característica del sistema.....	60
Gráfico VI.1 Comparación porcentual de pérdidas con coeficiente de pérdidas por secciones.....	77
Gráfico 0.1 Forma aerodinámica cono contracción por Bell - Mehta .....	100
Gráfico VII.0.2 Iteración N°2 - Curva característica del sistema.....	103
Gráfico 0.3 Forma aerodinámica cono contracción por Bell - Mehta .....	108



# ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación II.1 .....	8
Ecuación II.2 .....	8
Ecuación II.3 .....	9
Ecuación II.4 .....	9
Ecuación II.5 .....	9
Ecuación II.6 .....	9
Ecuación II.7 .....	12
Ecuación II.8 .....	13
Ecuación II.9 .....	13
Ecuación II.10 .....	15
Ecuación II.11 .....	15
Ecuación II.12 .....	15
Ecuación II.13 .....	15
Ecuación II.14 .....	15
Ecuación II.15 .....	18
Ecuación II.16 .....	18
Ecuación II.17 .....	19
Ecuación II.18 .....	19
Ecuación III.1 .....	35
Ecuación III.2 .....	36
Ecuación III.3 .....	36
Ecuación III.4 .....	36
Ecuación III.5 .....	37
Ecuación III.6 .....	37
Ecuación III.7 .....	38
Ecuación III.8 .....	38
Ecuación III.9 .....	38
Ecuación III.10 .....	38
Ecuación III.11 .....	38
Ecuación III.12 .....	39
Ecuación III.13 .....	39
Ecuación III.14 .....	39
Ecuación III.15 .....	40
Ecuación III.16 .....	40
Ecuación III.17 .....	41

Ecuación III.18 .....	41
Ecuación III.19 .....	41
Ecuación III.20 .....	42
Ecuación III.21 .....	42
Ecuación III.22 .....	42
Ecuación III.23 .....	43
Ecuación III.24 .....	44
Ecuación III.25 .....	44
Ecuación III.26 .....	44
Ecuación III.27 .....	44
Ecuación III.28 .....	45
Ecuación III.29 .....	45
Ecuación III.30 .....	45
Ecuación III.31 .....	46
Ecuación III.32 .....	46
Ecuación III.33 .....	47
Ecuación III.34 .....	47
Ecuación VII.1 .....	81