

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍAS FÍSICAS Y FORMALES

**PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA
ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA**



**“DISEÑO DE CÁMARA CRIOGÉNICA DE CUERPO ENTERO PARA
DEPORTISTAS”**

TESIS PRESENTADA POR:

FERNANDO MATEO MÁRQUEZ MANRIQUE

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO MECÁNICO

AREQUIPA – PERÚ

AÑO 2015

DEDICATORIA

A mis padres.



RESUMEN

El presente trabajo de tesis tiene como finalidad diseñar una cámara criogénica de cuerpo entero para deportistas, personas con lesiones musculares y/o personas que deseen aprovechar las ventajas de la crioterapia. El diseño del equipo se divide en dos componentes generales: un sistema de suministro de nitrógeno evaporado más aire seco y una cámara unipersonal donde se ubica el usuario de la cámara. La temperatura promedio dentro de la cámara es de -100°C .

El funcionamiento del equipo inicia con el suministro de nitrógeno líquido a través de una manguera criogénica desde el tanque de LN_2 hasta el equipo. Una válvula solenoide (Normalmente cerrada) controla el paso del nitrógeno hacia el evaporador. Durante una sesión de 3 minutos la válvula está abierta permitiendo que el nitrógeno se evapore en el intercambiador de calor. Al mismo tiempo se suministra aire al intercambiador de calor (exterior) el cual se deshumidifica para luego mezclarlo con el nitrógeno evaporado y así ingresar a la cámara del usuario.

Luego de cotizar algunos de los componentes y tomando precios referenciales para otros, se obtuvo que el costo de mandar a fabricar una cámara criogénica es de US\$5,5295.00 (Sin contar costos extras por importación de componentes). Luego de un análisis rápido, también se pudo determinar que para un periodo de recuperación de inversión de 1.5 años, la empresa que desee proveer el servicio de crioterapia podría cobrar por cada sesión S/.60.00.

ABSTRACT

The purpose of this thesis is to design a whole-body cryogenic chamber for athletes, people with muscle injuries and/or people who wish to take advantage of cryotherapy. The design is divided into two main components: an evaporated nitrogen supply system plus dried air and a one-person chamber where the user is located. The average temperature inside the chamber is -100°C .

The operation of the equipment starts with the supply of liquid nitrogen through a cryogenic hose from the LN_2 tank to the equipment. A solenoid valve (normally closed) controls the passage of nitrogen to the evaporator. During a 3-minute session, the valve is opened allowing the evaporation of the nitrogen inside the heat exchanger. At the same time, air is supplied to the heat exchanger (exterior) in which is dehumidified and then mix with the evaporated nitrogen and thus enter the user's camera.

After getting the prices for some of the components and taking reference prices for others, an estimate cost of sending a cryogenic chamber to manufacture is US\$5295.00 (Minus importation extra costs). After a quick analysis, it was also determined that for a payback period of 1.5 years, the company wishing to provide the service of cryotherapy could charge for each session S/.60.00.

ÍNDICE

CAPÍTULO I GENERALIDADES.....	15
1.1. ANTECEDENTES DEL TEMA.....	15
1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	16
1.3. OBJETIVOS	17
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	17
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
1.4. JUSTIFICACIÓN	17
1.5. ALCANCES Y LIMITACIONES	18
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....	19
2.1. MARCO CONCEPTUAL GENERAL	19
2.1.1. CRIOTERÁPIA	19
2.1.2. EL NIVEL BIOQUÍMICO.....	20
2.1.3. EL NIVEL ENERGÉTICO	21
2.1.4. EL NIVEL INFORMATIVO	21
2.1.5. MÉTODOS DE EMPLEO DEL FRÍO	22
2.1.6. COMPARACIÓN DE LA CRIOTERAPIA VS BAÑOS DE AGUA HELADA	24
2.1.7. BENEFICIOS DE CRIOTERÁPIA CON CÁMARA CRIOGÉNICA.....	25
2.1.8. CONTRAINDICACIONES DE LA CRIOTERÁPIA DE CUERPO ENTERO [12]	26
2.1.9. NITRÓGENO LÍQUIDO COMPARADO A OTROS MÉTODOS DE CONGELACIÓN.....	26
2.1.10. TIPOS DE CÁMARAS CRIOGÉNICAS.....	29
2.1.11. PRINCIPALES ELEMENTOS DE LA CÁMARA CRIOGÉNICA	31
2.2. TERMODINÁMICA A TEMPERATURAS CRIOGÉNICAS	36
2.3. TRANSFERENCIA DE CALOR	37
2.4. CLASIFICACIÓN DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR	38
2.5. TRANSFERENCIA DE CALOR CONDUCTIVA	39
2.6. TRANSFERENCIA DE CALOR CONVECTIVA	40
2.6.1. CONVECCIÓN EXTERNA FORZADA	41
2.6.2. CONVECCIÓN INTERNA FORZADA	56
2.7. TRANSFERENCIA DE CALOR POR RADIACIÓN	57
2.8. EBULLICIÓN EN FLUJO	58

2.8.1.	FLUJO EN BURBUJAS	59
2.8.2.	FLUJO TAPÓN	59
2.8.3.	FLUJO ANULAR	59
2.8.4.	FLUJO DE NIEBLA	59
2.9.	MÉTODO KLIMENKO	61
2.9.1.	DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE LOCAL	62
2.9.2.	CAIDA DE PRESIÓN INTERNA.....	64
2.10.	ANÁLISIS DE INTERCAMBIADORES DE CALOR.....	68
2.10.1.	COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR	69
2.10.2.	FACTOR DE INCRUSTACIÓN	71
2.10.3.	ANÁLISIS DE LOS INTERCAMBIADORES DE CALOR	72
2.11.	TERMORREGULACIÓN HUMANA	74
2.11.1.	TRANSFERENCIA DE CALOR ENTRE EL CUERPO HUMANO Y EL AMBIENTE	74
CAPÍTULO III PARÁMETROS DE DISEÑO		81
3.1.	DETALLAR EL PROBLEMA	81
3.1.1.	ASUMIENDO EL PROBLEMA EN FORMA CRÍTICA.....	81
3.1.2.	ESTADO DE LA TECNOLOGÍA.....	82
3.1.3.	ANALIZANDO LA SITUACIÓN DEL PROBLEMA	83
3.1.4.	COMPROBAR LA POSIBILIDAD DE REALIZACIÓN	83
3.1.5.	COMPLETAR LAS EXIGENCIAS	84
3.1.6.	DETALLAR COMPLETAMENTE LISTA DE EXIGENCIAS	85
3.2.	ELABORACIÓN DEL CONCEPTO	90
3.2.1.	DETERMINAR LA ESTRUCTURA DE FUNCIONES	90
3.2.2.	DEFINICIÓN BÁSICA DE FUNCIONES DE LA MÁQUINA.....	91
3.2.3.	FIJAR LOS PROCESOS TÉCNICOS	93
3.2.4.	DETERMINAR LAS ENTRADAS Y SALIDAS DE CADA PROCESO (BLACK-BOX).....	95
3.2.5.	PROBLEMAS QUE PRESENTAN LAS SALIDAS	99
3.2.6.	SOLUCIONES PLANTEADAS A SALIDAS	99
3.2.7.	PRINCIPIOS TECNOLÓGICOS POSIBLES PARA SOLUCIONAR LOS PROCESOS TÉCNICOS	100
3.2.8.	MATRIZ MORFOLÓGICA	103
3.2.9.	CONCEPTO ÓPTIMO Y VARIANTES QUE LO CONDICIONAN	104

3.3.	PROYECTAR.....	108
3.3.1.	DETERMINAR EL PROYECTO PRELIMINAR	108
3.4.	ELABORACIÓN DE DETALLES.....	108
3.4.1.	DETALLAR.....	108
3.4.2.	PROPORCIONAR EL FUNDAMENTO	108
3.4.3.	ELABORACIÓN DE FORMAS, DIMENSIONES DEFINITIVAS Y COMPLETAS.....	108
3.4.4.	DETERMINAR COMPLETA Y DEFINITIVAMENTE EL MATERIAL, CLASES DE FABRICACIÓN, TOLERANCIAS Y CALIDAD DE ACABADO SUPERFICIAL.....	108
3.4.5.	REPRESENTAR LAS PIEZAS, DIMENSIONAR, DAR LAS TOLERANCIAS Y CALIDAD DEL ACABADO SUPERFICIAL	109
CAPÍTULO IV INGENIERÍA DE DISEÑO		110
4.1.	DISEÑO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DE VAPOR.....	110
4.1.1.	DISEÑO DEL EVAPORADOR	112
4.1.2.	DISEÑO DE DUCTOS DE ENTRADA Y DESCARGA DE AIRE.....	145
4.1.3.	DISEÑO DE ZONA DE MEZCLA Y SUMINISTRO DE MEZCLA DE AIRE-N ₂	154
4.1.4.	DISEÑO DE AISLAMIENTO DEL INTERCAMBIADOR.....	162
4.2.	DISEÑO DE CÁMARA DEL USUARIO.....	163
4.2.1.	BALANCE ENERGÉTICO DENTRO DE LA CÁMARA.....	164
4.2.2.	DEFINICIÓN DE LAS DIMENSIONES DE LA CÁMARA	173
4.2.3.	DISEÑO DEL AISLAMIENTO EN CÁMARA	177
4.3.	DISEÑO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DE LN ₂ AL EVAPORADOR .	178
4.3.1.	DISEÑO DE AISLAMIENTO DE TUBERÍA DE COBRE	180
4.4.	DISEÑO DEL SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE GASES	183
4.5.	DISEÑO ESTRUCTURAL	189
4.5.1.	DISEÑO DE ESTRUCTURA SUPERIOR	189
4.5.2.	DISEÑO DE ESTRUCTURA INFERIOR	197
4.5.3.	DISEÑO DE PLATINA SOPORTE DE VENTILADOR.....	203
4.5.4.	DISEÑO DE SOPORTE DE EVAPORADOR.....	206
4.5.5.	DISEÑO DE UNIONES SOLDADAS	208
4.6.	ESTRÉS TÉRMICO	212
4.6.1.	CONTRACCIÓN EN SECCIONES DEL SERPENTÍN.....	213
4.6.2.	CONTRACCIÓN EN UNIÓN SERPENTÍN-ALETA.....	214

CAPÍTULO V COSTOS	215
5.1. PRESUPUESTO	215
5.2. LIMITACIONES	216
5.3. COSTO POR SESIÓN	216
5.4. RETORNO DE LA INVERSIÓN	216
CAPÍTULO VI AUTOMATIZACIÓN	220
6.1. OBJETIVOS DE LA AUTOMATIZACIÓN	220
6.2. PARTES DE LA MÁQUINA QUE INTERVIENEN EN LA AUTOMATIZACIÓN	221
6.3. SELECCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE.....	223
6.4. PARÁMETROS DE DISEÑO DEL CONTROL AUTOMÁTICO.....	224
6.4.1. ENTRADAS DEL SISTEMA A CONTROLAR	224
6.4.2. SALIDAS DEL SISTEMA A CONTROLAR.....	225
6.4.3. DEFINICIÓN DE SÍMBOLOS	226
6.5. PROGRAMA DE CONTROL, SUPERVISIÓN Y SIMULACIÓN CON EL SOFTWARE TWIDO SUITE.....	227
6.5.1. EXPLICACIÓN DEL PROGRAMA DE CONTROL.....	230
CAPÍTULO VII SEGURIDAD EN SISTEMAS CRIOGÉNICOS.....	231
7.1. RIESGOS FISIOLÓGICOS.....	231
7.1.1. CONGELACIÓN.....	231
7.1.2. ASFIXIA POR NITRÓGENO	233
CONCLUSIONES	234
RECOMENDACIONES	235
BIBLIOGRAFÍA	236
ANEXOS	240
PLANOS.....	313

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2-1: DEPORTISTAS SUMERGIDOS EN HIELO.....	22
FIGURA 2-2: BOLSA DE GEL (COLD PACK).....	22
FIGURA 2-3: SPRAY DE FRÍO.....	23
FIGURA 2-4: CÁMARA CRIOGÉNICA MARCA CRYOMEDITALIA.....	23
FIGURA 2-5: CRIOSAUNA CON VASO DEWAR,	30
FIGURA 2-6: CRIOSAUNA CON TANQUE PRESURIZADO.....	30
FIGURA 2-7: PARTES DE UN VASO DEWAR.	31
FIGURA 2-8: PARTES DE UN TANQUE PRESURIZADO (CRIOGAS®)	32
FIGURA 2-9: VISTA DEL INTERIOR DE CÁMARA.	33
FIGURA 2-10: ESQUEMA DE EVAPORADOR DE LN ₂	34
FIGURA 2-11: VÁLVULA SOLENOIDE DE ACCIÓN DIRECTA.	35
FIGURA 2-12: VÁLVULA SOLENOIDE OPERADA POR PILOTO.	36
FIGURA 2-13: COMPORTAMIENTO DEL RÉGIMEN ESTACIONARIO(A) Y TRANSITORIO (B).....	38
FIGURA 2-14: DIAGRAMA T-X DE LA CONDUCCIÓN DEL CALOR.	39
FIGURA 2-15: CAPA LÍMITE TÉRMICA SOBRE UNA PLACA PLANA (EL FLUIDO ESTÁ MÁS CALIENTE QUE LA SUPERFICIE DE LA PLACA)	42
FIGURA 2-16: SEPARACIÓN DE CAPA LÍMITE LAMINAR CON UNA ESTELA TURBULENTE; Re=2000.....	43
FIGURA 2-17: FORMACIÓN DE HIELO ALREDEDOR DE TUBO DE COBRE QUE TRANSPORTA LN ₂	47
FIGURA 2-18: INTERCAMBIO ENERGÉTICO ENTRE EL AIRE Y EL REFRIGERANTE, SEPARADOS POR UNA SUPERFICIE HORIZONTAL.	48
FIGURA 2-19: DIVISIÓN DE UN SERPENTÍN DE ENFRIAMIENTO Y DESECACIÓN DE AIRE, EN TRES PORCIONES.	49
FIGURA 2-20: REPRESENTACIÓN CUALITATIVA DEL PROCESO QUE EXPERIMENTA EL AIRE EN UN SERPENTÍN DE ENFRIAMIENTO Y DESECACIÓN.	50
FIGURA 2-21: PATRÓN DE FLUJO PARA BANCO DE TUBOS ALINEADOS.....	51
FIGURA 2-22: CONFIGURACIÓN DE LOS TUBOS DE LOS BANCOS ALINEADOS (A ₁ Y A _T SON LAS ÁREAS DE FLUJO EN LOS LUGARES INDICADOS Y L ES LA LONGITUD DE LOS TUBOS).....	52
FIGURA 2-23: FACTOR DE FRICCIÓN Y FACTOR DE CORRECCIÓN PARA BANCOS DE TUBOS (TOMADA DE ZUKAUSKAS, 1985) .	56
FIGURA 2-24: RÉGIMENES DE LA EBULLICIÓN DINÁMICA.....	59
FIGURA 2-25: VARIACIÓN DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR CON LA CALIDAD DEL VAPOR	60
FIGURA 2-26: VALORES DEL COEFICIENTE Ψ_{BF}	67
FIGURA 2-27: ESQUEMA DE INTERCAMBIADOR DE CALOR DE FLUJO CRUZADO	69
FIGURA 2-28: RED DE RESISTENCIAS TÉRMICAS ASOCIADAS CON LA TRANSFERENCIA DE CALOR EN UN INTERCAMBIADOR COMÚN	70
FIGURA 2-29: FACTOR DE CORRECCIÓN F PARA FLUJO CRUZADO NO MEZCLADO.....	73
FIGURA 3-1: DIAGRAMA DE BLOQUES FUNCIONALES PARA EL PROCESO DE DESCARGA DE LN ₂	93

FIGURA 3-2: DIAGRAMA DE BLOQUES FUNCIONALES PARA EL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE VAPORES REMANENTES	94
FIGURA 3-3: DIAGRAMA DE BLOQUES FUNCIONALES PARA EL PROCESO DE EVAPORACIÓN DEL LN ₂	94
FIGURA 3-4: DIAGRAMA DE BLOQUES FUNCIONALES PARA EL PROCESO DE MEZCLA Y SUMINISTRO DE AIRE SECO MÁS NITRÓGENO EVAPORADO	94
FIGURA 3-5: DIAGRAMA DE BLOQUES FUNCIONALES PARA EL PROCESO DE AUTOMATIZACIÓN, CONTROL Y SUPERVISIÓN	95
FIGURA 4-1: ESQUEMA DE EVAPORADOR (T ₁ Y T ₂ PARA EL AIRE, T ₁ Y T ₂ PARA EL NITRÓGENO)	112
FIGURA 4-2: VISTA TRANSVERSAL DEL EVAPORADOR.....	120
FIGURA 4-3: MODELAMIENTO DEL EVAPORADOR.....	121
FIGURA 4-4: SIMULACIÓN DE LA VELOCIDAD DEL AIRE A TRAVÉS DEL BANCO DE TUBOS, EN LA ENTRADA. (LOS PUNTOS ROJOS INDICAN LOS LUGARES DONDE SE TOMÓ LA MEDICIÓN DE LA VELOCIDAD).....	122
FIGURA 4-5: GRÁFICO DE VELOCIDADES DE AIRE.....	122
FIGURA 4-6: SIMULACIÓN DE LA VELOCIDAD DEL AIRE A TRAVÉS DEL BANCO DE TUBOS, EN EL MEDIO. (LOS PUNTOS ROJOS INDICAN LOS LUGARES DONDE SE TOMÓ LA MEDICIÓN DE LA VELOCIDAD).....	123
FIGURA 4-7: GRÁFICO DE VELOCIDAD DEL AIRE VS. PUNTO DE MEDICIÓN	123
FIGURA 4-8: SIMULACIÓN DE LA VELOCIDAD DEL AIRE A TRAVÉS DEL BANCO DE TUBOS, EN EL FINAL. (LOS PUNTOS ROJOS INDICAN LOS LUGARES DONDE SE TOMÓ LA MEDICIÓN DE LA VELOCIDAD).....	124
FIGURA 4-9: GRÁFICO DE VELOCIDAD DEL AIRE VS. PUNTO DE MEDICIÓN	124
FIGURA 4-10: SIMULACIÓN DE TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL SERPENTÍN.....	126
FIGURA 4-11: PLANO DE TEMPERATURA DEL AIRE A LA SALIDA DEL EVAPORADOR	127
FIGURA 4-12: EVALUACIÓN DE TEMPERATURA EN EL PRIMER SEGMENTO (LA LÍNEA ROJA INDICA LOS PUNTOS DE DONDE SE EXTRAERÁN LOS DATOS).....	127
FIGURA 4-13: GRÁFICA DE TEMPERATURAS DEL PRIMER SEGMENTO	128
FIGURA 4-14: ESQUEMA DE IC	135
FIGURA 4-15: VISTAS ISOMÉTRICAS DE LA ZONA DE ENTRADA DE AIRE	145
FIGURA 4-16: VISTA DE LOS DOS PLANOS DONDE SE VERIFICARÁ EL COMPORTAMIENTO DEL AIRE	147
FIGURA 4-17: VISTA DE PLANTA DEL COMPORTAMIENTO DEL AIRE	148
FIGURA 4-18: VISTA DE PERFIL DEL COMPORTAMIENTO DEL AIRE	148
FIGURA 4-19: VISTAS ISOMÉTRICA DE LA SALIDA DE AIRE DEL IC.....	149
FIGURA 4-20: VISTA DE PERFIL DEL FLUJO DE AIRE EN LA SALIDA DEL AIRE HACIA LA CÁMARA	150
FIGURA 4-21: ISOMÉTRICO EVAPORADOR Y DUCTOS	151
FIGURA 4-22: DIMENSIONES APROXIMADAS DEL CIRCUITO DEL AIRE	152
FIGURA 4-23: VISTA ISOMÉTRICA DE ZONA DE MEZCLA DE AIRE - N ₂	154
FIGURA 4-24: VISTA FRONTAL Y PERFIL DE ZONA DE MEZCLA DE AIRE - N ₂	155
FIGURA 4-25: VISTA ISOMÉTRICA DE REJILLA	155
FIGURA 4-26: VISTA SUPERIOR DE REJILLA	156
FIGURA 4-27: DISEÑO DE ZONA DE MEZCLA Y SUMINISTRO EN SIMULATION CFD	156

FIGURA 4-28: SIMULACIÓN DE ZONA DE MEZCLA Y SUMINISTRO (TEMPERATURA)	157
FIGURA 4-29: PLANO XY DE TEMPERATURA	158
FIGURA 4-30: PLANO XY DE VELOCIDAD DE FLUJO	158
FIGURA 4-31: PLANO XZ DE VELOCIDAD DE FLUJO	159
FIGURA 4-32: PLANO XZ DEL COMPORTAMIENTO DEL FLUJO A TRAVÉS DE LA REJILLA	160
FIGURA 4-33: VISTA ISOMÉTRICA DEL COMPORTAMIENTO DEL FLUJO A TRAVÉS DE LA REJILLA	160
FIGURA 4-34: DETALLE DE ZONA DE MEZCLA, VECTORES DE VELOCIDAD (VISTA DE PLANTA)	161
FIGURA 4-35: DETALLE DE LA ZONA DE MEZCLA, VECTORES DE VELOCIDAD (VISTA DE PERFIL)	161
FIGURA 4-36: CÁLCULO DEL ESPESOR DE AISLAMIENTO PARA EL INTERCAMBIADOR DE CALOR	163
FIGURA 4-37: COMPARACIÓN ENTRE LOS EFECTOS DE BAÑOS HIPOTÉRMICOS (54°F), BAÑOS DE AGUA CON HIELO (32°F) Y UNA CÁMARA CRIOGÉNICA (-202°F)	165
FIGURA 4-38: TOMA DE MUESTRA DE VELOCIDADES (LÍNEA ROJA)	166
FIGURA 4-39: DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDADES A LA ENTRADA A LA CÁMARA.....	166
FIGURA 4-40: ACCESORIO PARA INTERIOR DE CÁMARA	167
FIGURA 4-41: MEDIDAS APROXIMADAS DE ACCESORIO PARA REDUCIR VELOCIDAD DE MEZCLA.....	167
FIGURA 4-42: VISTA DE LA DISTRIBUCIÓN DE TEMPERATURAS A LA ENTRADA DE LA CÁMARA.....	168
FIGURA 4-43: VOLUMEN DE CONTROL (ZONA DE MEZCLA DE AIRE-N ₂) SE ASUME ADIABÁTICO POR EL AISLAMIENTO	169
FIGURA 4-44: TENDENCIA DEL $\dot{Q}_{EXT}$ Y T_{PIEL}	173
FIGURA 4-45: DIMENSIONES HUMANAS DE MAYOR USO PARA EL DISEÑADOR	174
FIGURA 4-46: DIMENSIONES DEL CUERPO: PREVISIÓN 1985.....	175
FIGURA 4-47: DIMENSIONES DEL INTERIOR DE LA CÁMARA (SOLO REFERENCIA)	176
FIGURA 4-48: DIMENSIONES DEL INTERIOR DE LA CÁMARA (SOLO REFERENCIA)	178
FIGURA 4-49: ESQUEMA DE SISTEMA DE SUMINISTRO DE LN ₂	179
FIGURA 4-50: RESULTADO DE CÁLCULO DE SOFTWARE AISLAM PARA TUBERÍA DE COBRE	181
FIGURA 4-51: GRÁFICA DE ESPESOR DE AISLAMIENTO VERSUS TEMPERATURA EXTERNA DEL AISLAMIENTO	183
FIGURA 4-52: CURVA DEL SISTEMA Y PUNTO DE OPERACIÓN (LA LÍNEA NEGRA INDICA LA VELOCIDAD 1 DEL MOTOR)	188
FIGURA 4-53: ESQUEMA DE EXTRACCIÓN DE GASES (EN LA FIGURA NO SE MUESTRA LA REJILLA).....	189
FIGURA 4-54: MODELAMIENTO DE ESTRUCTURA SUPERIOR EN SIMULATION MECHANICAL	192
FIGURA 4-55: RESULTADOS DE SIMULACIÓN.....	193
FIGURA 4-56: RESULTADO DE DESPLAZAMIENTO EN INVENTOR.....	194
FIGURA 4-57: MODELACIÓN DE LA ESTRUCTURA EN INVENTOR.....	194
FIGURA 4-58: RESULTADO DE ESFUERZO DE VON MISES CON INVENTOR	195
FIGURA 4-59: MODELACIÓN DE LA ESTRUCTURA EN INVENTOR.....	200
FIGURA 4-60: RESULTADO DE DESPLAZAMIENTO EN INVENTOR.....	200
FIGURA 4-61: RESULTADO DE ESFUERZO DE VON MISES CON INVENTOR	201
FIGURA 4-62: ESQUEMA DE SOPORTE DEL VENTILADOR	204

FIGURA 4-63: RESULTADO DE DESPLAZAMIENTO	205
FIGURA 4-64: RESULTADO DEL ESFUERZO DE VON MISES	205
FIGURA 4-65: RESULTADO DEL ESFUERZO DE VON MISES	207
FIGURA 4-66: RESULTADO DE LA DEFORMACIÓN	208
FIGURA 4-67: RESISTENCIA AL IMPACTO DE VARIOS METALES	211
FIGURA 4-68: VISTA FRONTAL EL IC	213
FIGURA 4-69: VISTA DE CORTE DE UNA ALETA	214
FIGURA 6-1: VISTA ISOMÉTRICA EN CORTE DE LA CÁMARA CON ACCESORIOS DE AUTOMATIZACIÓN	222
FIGURA 6-2: PLC TWIDO MODELO TWDLCAA24DRF (24E/S)	223
FIGURA 6-3: ENTRADAS DEL PLC	224
FIGURA 6-4: SALIDAS DEL PLC	225
FIGURA 6-5: PROGRAMA LADDER PARA EL CONTROL Y SUPERVISIÓN DEL SISTEMA	229
FIGURA 7-1: EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL COMÚN PARA MANIPULAR FLUIDOS CRIOGÉNICOS	232

LISTA DE TABLAS

TABLA 2-1: COMPARACIÓN ENTRE USO DE CÁMARA CRIOGÉNICA Y BAÑOS DE AGUA HELADA	24
TABLA 2-2: COMPARACIÓN ENTRE EL ENFRIAMIENTO POR NITRÓGENO LÍQUIDO Y CO ₂ [23]	27
TABLA 2-3: COMPARACIÓN ENTRE LA CONGELACIÓN POR NITRÓGENO LÍQUIDO Y FRÍO MECÁNICO [23]	29
TABLA 2-4: VALORES TÍPICOS DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCIÓN	41
TABLA 2-5: CORRELACIONES DEL NÚMERO DE NUSSELT PARA FLUJO CRUZADO SOBRE BANCO DE TUBOS, PARA $N_L > 16$ Y $0.7 < Pr < 500$	53
TABLA 2-6: FACTOR DE CORRECCIÓN F QUE DEBE USARSE E EN $NU_{D,NL} < 16 = FNU_D$ PARA $N_L > 16$ Y $Re_D > 1000$	54
TABLA 2-7: COEFICIENTES DE PÉRDIDAS POR LOS CAMBIOS DE DIRECCIÓN (CODOS) ζ_{CD}	68
TABLA 2-8: FACTORES DE INCRUSTACIÓN REPRESENTATIVOS	71
TABLA 2-9: COEFICIENTES DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCIÓN PARA UN CUERPO CON ROPA, A 1 ATM (V EN M/S) (COMPILADO DE VARIAS FUENTES)	77
TABLA 3-1: LISTA DE EXIGENCIAS DEL PROYECTO	86
TABLA 3-2: BLACK BOX DEL PROCESO DE DESCARGA DEL LN ₂	95
TABLA 3-3: BLACK BOX DEL PROCESO DE EVAPORACIÓN DEL LN ₂	96
TABLA 3-4: BLACK BOX DEL PROCESO DE MEZCLA Y SUMINISTRO DE AIRE SECO MÁS NITRÓGENO EVAPORADO	97
TABLA 3-5: BLACK BOX DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE VAPORES REMANENTES	97
TABLA 3-6: BLACK BOX DEL PROCESO DE AUTOMATIZACIÓN, CONTROL Y SUPERVISIÓN	98
TABLA 3-7: PROCESO DE DESCARGA DE LN ₂	100
TABLA 3-8: PROCESO DE EVAPORACIÓN DEL LN ₂	100
TABLA 3-9: PROCESO DE MEZCLA Y SUMINISTRO DE AIRE SECO MÁS NITRÓGENO EVAPORADO	101

TABLA 3-10: PROCESO DE EXTRACCIÓN DE VAPORES REMANENTES.....	101
TABLA 3-11: PROCESO DE AUTOMATIZACIÓN, CONTROL Y SUPERVISIÓN	102
TABLA 3-12: MATRIZ MORFOLÓGICA (ANÁLISIS DE 3 ALTERNATIVAS).....	103
TABLA 3-13: SOLUCIÓN ÓPTIMA PARA EL PROCESO DE DESCARGA DE LN_2	104
TABLA 3-14: SOLUCIÓN ÓPTIMA PARA EL PROCESO DE EVAPORACIÓN DEL LN_2	104
TABLA 3-15: SOLUCIÓN ÓPTIMA PARA EL PROCESO DE MEZCLA Y SUMINISTRO DE AIRE SECO MÁS NITRÓGENO EVAPORADO.....	105
TABLA 3-16: SOLUCIÓN ÓPTIMA PARA EL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE VAPORES REMANENTES.....	105
TABLA 3-17: SOLUCIÓN ÓPTIMA PARA EL PROCESO DE AUTOMATIZACIÓN, CONTROL Y SUPERVISIÓN	106
TABLA 3-18: VARIABLES TÉCNICAS	106
TABLA 3-19: VARIABLES ECONÓMICAS	107
TABLA 4-1: DATOS DEL AIRE QUE ENTRA AL EVAPORADOR	111
TABLA 4-2: DATOS DEL NITRÓGENO QUE ENTRA AL EVAPORADOR	111
TABLA 4-3: DATOS DEL TUBO DEL EVAPORADOR.....	112
TABLA 4-4: DATOS DEL NITRÓGENO SATURADO	113
TABLA 4-5: PROPIEDADES DEL AIRE A TEMPERATURA PROMEDIO.....	117
TABLA 4-6: DATOS TÉCNICOS DEL VENTILADOR.....	118
TABLA 4-7: DISTANCIA ENTRE TUBOS.....	120
TABLA 4-8: TEMPERATURAS DE LAS DIEZ ZONAS DE MUESTREO (VALORES EN GRADOS CENTÍGRADOS).....	128
TABLA 4-9: DATOS DEL AIRE A TEMPERATURA MEDIA Y SUPERFICIAL	129
TABLA 4-10: DATOS DEL AIRE A LA ENTRADA DEL EVAPORADOR	130
TABLA 4-11: ENTALPÍA POTENCIAL DE LAS 4 SECCIONES	132
TABLA 4-12: ÁREA NECESARIA PARA DESECAR EL AIRE	132
TABLA 4-13: TEMPERATURAS CONOCIDAS.....	135
TABLA 4-14: LONGITUDES DEL TUBO FUERA DEL EVAPORADOR	138
TABLA 4-15: DATOS DE ENTRADA PARA CÁLCULO DE CAIDA DE PRESIÓN	140
TABLA 4-16: COEFICIENTE DE FRICCIÓN	141
TABLA 4-17: FACTORES Ψ	142
TABLA 4-18: COEFICIENTE DE PÉRDIDAS POR CAMBIO DE DIRECCIÓN.....	143
TABLA 4-19: DIMENSIONES DE GENERADOR DE VAPOR	151
TABLA 4-20: LONGITUD EQUIVALENTE	152
TABLA 4-21: DATOS DE ENTRADA PARA SIMULACIÓN.....	157
TABLA 4-22: DATOS DE ENTRADA PARA AISLAM	162
TABLA 4-23: DATOS DE LOS GASES PRESENTES EN EL VOLUMEN DE CONTROL.....	169
TABLA 4-24: TABULACIÓN DEL CALOR EXTRAIDO DEL CUERPO DURANTE UNA SESIÓN DE 180 SEGUNDOS.....	172
TABLA 4-25: DIMENSIONES DEL CUERPO: PREVISIÓN 1985 DE HOMBRES Y MUJERES ADULTOS	175
TABLA 4-26: DIMENSIONES PARA INTERIOR DE CÁMARA	176

TABLA 4-27: ESPESOR DE AISLANTE SEGÚN TEMPERATURA INTERIOR DE LA CÁMARA.....	177
TABLA 4-28: LISTA DE COMPONENTES DE SISTEMA DE SUMINISTRO DE LN ₂	180
TABLA 4-29: DATOS DE ENTRADA PARA EL SOFTWARE AISLAM	181
TABLA 4-30: ESPESOR DEL AISLAMIENTO SEGÚN LA TEMPERATURA EXTERNA DEL AISLAMIENTO.....	182
TABLA 4-31: FRACCIÓN MOLAR DE MEZCLA AIRE-N ₂	184
TABLA 4-32: DATOS DE LA MEZCLA AIRE-N ₂	184
TABLA 4-33: TABULACIÓN DE CÁLCULO DE NUMERO ADIMENSIONAL	185
TABLA 4-34: LONGITUD EQUIVALENTE DE ACCESORIOS	187
TABLA 4-35: TABULACIÓN PARA GRAFICAR LA CURVA DEL SISTEMA.....	188
TABLA 4-36: TABLA DE PESOS QUE SOPORTA LA ESTRUCTURA SUPERIOR.....	190
TABLA 4-37: PESO PARA UN HOMBRE DE CONTEXTURA GRUESA	191
TABLA 4-38: DATOS DE ÁNGULO ESTRUCTURAL.....	196
TABLA 4-39: DATOS ELEMENTO	197
TABLA 4-40: TABLA DE PESOS QUE SOPORTA LA ESTRUCTURA SUPERIOR.....	198
TABLA 4-41: PESO PARA UN HOMBRE DE CONTEXTURA GRUESA	199
TABLA 4-42: DATOS DE ÁNGULO ESTRUCTURAL.....	202
TABLA 4-43: DATOS ELEMENTO	203
TABLA 4-44: CARGA MUERTA PARA PLATINA.....	204
TABLA 4-45: VISTA INFERIOR DE LAS PLATINAS DE APOYO DEL IC.....	206
TABLA 4-46: CARGA MUERTA PARA PLATINA.....	206
TABLA 4-47: PROCESOS RECOMENDADOS PARA LAS SOLDADURAS DE METALES Y ALEACIONES.....	210
TABLA 4-48: APLICACIONES ESPECIALES DE ELECTRODOS DE ACERO INOXIDABLE.....	211
TABLA 4-49: COEFICIENTES DE CONTRACCIÓN DE MATERIALES ESTRUCTURALES EN CONTACTO CON LN ₂	212
TABLA 5-1: RESUMEN DE PRECIO DE VENTA DE UNA CÁMARA.....	215
TABLA 5-2: COSTO OPERACIONAL ANUAL	217
TABLA 5-3: COSTOS GENERALES	217
TABLA 5-4: INGRESOS	217
TABLA 5-5: TABLA DE FLUJO NETO ACUMULADO	218
TABLA 5-6: TABULACIÓN DE DIFERENTES ESCENARIOS.....	219
TABLA 6-1: LISTA DE PIEZAS QUE INTERVIENEN EN LA AUTOMATIZACIÓN	222
TABLA 6-2: DIRECCIONES DE ENTRADA Y SALIDA	226
TABLA 7-1: PELIGROS RESPIRATORIOS DE LA FALTA DE OXÍGENO	233

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1.ANTECEDENTES DEL TEMA

El presente proyecto surge de la necesidad de deportistas arequipeños de aplicarse frío en las extremidades luego de un arduo entrenamiento, pues son conocidos mundialmente los beneficios desinflamatorios del frío, y es así, que este proyecto busca optimizar y mejorar los métodos actualmente usados.

A continuación se describen los métodos usados en nuestro entorno,

- Compresas de hielo, que consta de una bolsa llena de cubos de hielo, este método es doloroso pues el hielo provoca una sensación de quemadura.
- Baños de hielo, que consta de una tina de agua y cubos de hielo donde el deportista se sumerge, teniendo como desventajas la humedad y el dolor generado en las extremidades.
- Sprays de frío, son spray que se aplican intermitentemente a la zona afectada.

Paralelo a estos métodos se viene usando en pocos países de Europa la tecnología criogénica para alivio de males, esta tecnología usa una cámara criogénica o criosauna

que básicamente consta de un mecanismo que desprende nitrógeno vaporizado que progresivamente y en cuestión de minutos hacen que la temperatura baje hasta los 190 grados bajo cero. Los receptores de la piel reciben esa información, y se llega a percibir el frío pero gracias a las endorfinas liberadas no se siente dolor, en cambio se tiene una sensación de placer y bienestar. Esa información llega al cerebro y este despierta todos los mecanismos de defensa para poder preservar todas las funciones de los órganos, lo que entre otras cosas permite aumentar el nivel del flujo de sanguíneo. Así esta sangre enriquecida viaja por nuestro sistema circulatorio beneficiando de nutrientes a todo el organismo.

En una segunda fase, cuando ya se recupera la temperatura, se produce una vasodilatación, lo que repercute en la piel, el oxígeno de la sangre y los aminoácidos, permitiendo con el paso de las sesiones que la piel vaya auto-regenerándose.

En el caso concreto de los deportistas, estos consiguen regular instantáneamente tanto el pH de su cuerpo como el ácido láctico. En cuestión de una hora, el deportista puede estar recuperado perfectamente. Pero también mejora el rendimiento deportivo de los atletas gracias al aumento de testosterona (repercute en la masa muscular), del nivel hematocrito (glóbulos rojos de la sangre) y EPO, es así como la liberación de endorfinas, permite al deportista encontrar un mejor equilibrio emocional, afrontando las competiciones en mejores condiciones mentales.

1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El problema surge de la falta de investigación en nuestro país de los beneficios de temperaturas criogénicas¹ en el tratamiento de deportistas y/o personas en general que sufren de problemas musculares, lesiones, etc.

Los que este proyecto busca es sentar bases para el diseño de cámaras criogénicas a mayor escala y para la investigación de cómo reacciona el cuerpo humano a temperaturas bajo los -100°C.

¹ Se considera temperaturas criogénicas a valores menores a -100°C.

Además, el uso de las cámaras criogénicas optimiza el entrenamiento y recuperación del deportista pues actualmente cuando un deportista termina de entrenar y debe aplicarse frío a sus piernas lo más común es sumergirse en una tina de hielo, o también aplicarse directamente hielo a la piel, ambos casos son incómodos y dolorosos, a diferencia de la aplicación del nitrógeno líquido evaporado, pues a diferencia de lo que se podría pensar la cámara criogénica crea un ambiente totalmente seco y menos desagradable que una ducha fría.

1.3.OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar una cámara criogénica para deportistas y otros.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desarrollar la termodinámica y transferencia de calor que implica el diseño de la cámara criogénica.
- Calcular cuan factible es la compra de una cámara criogénica por parte de una clínica de fisioterapia.
- Diseñar un programa de control para la cámara criogénica.
- Mostrar la forma de construir la cámara criogénica.

1.4.JUSTIFICACIÓN

El diseño de la cámara criogénica se desarrollará para difundir la tecnología criogénica en el ámbito deportivo, buscando complementar el entrenamiento de deportistas en nuestro país, y así incrementar el bajo nivel internacional que tienen los deportistas nacionales.

Es evidente que los clientes potenciales están dentro del área del deporte como clubes de fútbol, vóley, etc., pero también se tienen clientes dentro del área estética por lo que spas y gimnasios también son clientes potenciales.

Al diseñarse este equipo se podrá dar una alternativa a los métodos de aplicación del frío convencionales, los cuales son dolorosos y no alcanzan temperaturas tan bajas como el nitrógeno.

1.5.ALCANCES Y LIMITACIONES

El presente trabajo mostrará el diseño y la manera de construir una cámara criogénica unipersonal que constará de un cilindro tapizado con una puerta, junto a un sistema de suministro de nitrógeno líquido vaporizado, viéndose la necesidad de optimizar el los aparatos que conformen dicho sistema, como será el tanque presurizado, mangueras de suministro de N_2 , ventilador, ducto de vapor, válvulas y sistema de control electrónico. De forma que el costo de fabricación y operación de la maquina sea el más efectivo posible.

Entre las limitaciones del presente proyecto, se tiene la falta de componentes necesarios, para el diseño de la cámara criogénica, obligará a importar componentes del extranjero lo que hace que el precio se incremente considerablemente.

Otra limitación del presente proyecto es la implementación de la automatización, pues el diseño se centra más en la parte térmica y estructural, y no en la parte eléctrica/electrónica.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1.MARCO CONCEPTUAL GENERAL

2.1.1. CRIOTERÁPIA

Se define como el uso local o general de bajas temperaturas en la terapia médica. La crioterapia es usada para tratar una variedad de daños en tejidos o lesiones musculares.

El primero uso del frío con fines terapéuticos data de 1978 gracias al doctor Yamaguchi de Japón, quien comenzó a utilizar hielo como método curativo con el fin de reducir la inflamación de las articulaciones y aliviar el dolor.

En 1980, mientras continuaba con su investigación, ahora en los efectos de la crioterapia de cuerpo entero, el Dr. Yamaguchi y sus asociados llegaron a esta conclusión: que el enfriamiento rápido de la superficie de la piel a una temperatura de $-1^{\circ}\text{C}/32^{\circ}\text{F}$ dentro de la cámara criogénica tiene un efecto más beneficioso en el cuerpo humano que los enfriamientos graduales de baños de hielo, donde la temperatura más baja posible es $5^{\circ}\text{C}/41^{\circ}\text{F}$.

Como resultado de su minuciosa y sostenida investigación, el Dr. Yamaguchi formuló que la Crioterapia de Cuerpo Entero afecta al cuerpo en tres niveles:

- El nivel Bioquímico – El sistema circulatorio
- El nivel Energético – Los meridianos de energía
- El nivel Informativo – El sistema nervioso

2.1.2. EL NIVEL BIOQUÍMICO

Es básicamente el nivel físico, cuando el usuario está dentro de la cámara criogénica, donde el ambiente está alrededor de los -170°C , el cuerpo humano es rápidamente expuesto a una temperatura extremadamente baja, y la superficie de la piel es rápidamente enfriada a -1°C en 3 minutos. Cuando esto sucede, los sensores de frío en la piel envían una fuerte señal al cerebro sobre el posible peligro que se está corriendo, es por eso, que el cerebro da la orden a todas las partes periféricas del cuerpo a comprimir los músculos y tejidos para enviar sangre al núcleo del cuerpo, y así empiece a circular en un “ciclo interno” para proteger los órganos vitales. Un efecto inmediato es que la presión de la sangre se incremente en 100 puntos. Pero ocurre mucho más, mientras la sangre circula en el “ciclo interno”, la sangre también está siendo enriquecida con oxígeno y todas las enzimas y nutrientes necesarios.

También se sabe que en un periodo de tiempo específico un rango de células del cuerpo son reemplazadas con células nuevas, y las células muertas son eliminadas a través del sistema linfático.

Después de 3 minutos de crioterapia de cuerpo entero, cuando el cliente sale de la cámara criogénica hacia un ambiente más cálido, señales al cerebro indican que la temperatura ha cambiado, y todos los tejidos periféricos se expanden, incluyendo los vasos sanguíneos, tejidos de músculos y de piel. Pero, ¿Qué sucede en este cambio de temperatura? La sangre se libera de regreso a los tejidos periféricos llevando todos los nutrientes que también obtuvieron los órganos vitales. En efecto, este proceso continúa hasta 8 horas después de haber terminado la sesión.

2.1.3. EL NIVEL ENERGÉTICO

Es importante notar que la medicina occidental moderna ha tratado de distanciarse de la existencia de un Nivel Energético, en cambio la medicina Oriental está basada, por lo menos en parte, en trabajar con la energía del cuerpo humano. Este nivel está hecho de meridianos, similar a la manera de como el sistema circulatorio está hecho de una red de vasos sanguíneos.

El cuerpo humano consiste en 12 meridianos principales y muchos meridianos laterales. Cuando el flujo de energía en cualquier meridiano es bloqueado, algunos órganos no reciben la energía para funcionar correctamente, es así que un órgano empieza a morir.

Entonces, ¿Cómo la crioterapia estimula el flujo de energía en el cuerpo? Sabemos por cualquier físico que si a un cable se le calienta un extremo y se enfría el otro, la diferencia de temperatura genera una corriente eléctrica en el cable. Pues lo mismo ocurre con el cuerpo humano, cuando la temperatura de la piel desciende a -1°C mientras la temperatura del núcleo es 37°C , hay una diferencia de 38°C que es suficiente para crear un flujo fuerte de energía a los meridianos. En este caso la crioterapia es usada como un método correctivo y preventivo, de modo que el cuerpo humano permanezca sano más tiempo.

2.1.4. EL NIVEL INFORMATIVO

De similar manera que el cerebro envía señales a los tejidos periféricos causando vaso-constricciones durante la crioterapia, en el nivel informativo el cerebro envía señales a todas las partes del cuerpo a través del sistema nervioso para determinar la extensión del cuerpo que ha sido comprometido.

¿Qué sucede exactamente en este nivel? Cuando el cerebro, en respuesta a las condiciones críticas percibidas, encuesta todas las partes del cuerpo y analiza las señales que retornan, crea una imagen “en vivo” del estado de salud del cuerpo – la cual necesita para ubicar los recursos y así asegurar la viabilidad del cuerpo.

2.1.5. MÉTODOS DE EMPLEO DEL FRÍO

2.1.5.1. INMERSIÓN EN AGUA HELADA

Consiste en sumergir parte del cuerpo o alguna zona localizada en una tina de agua y hielo, se pueden alcanzar temperaturas de -1°C . Su desventaja es la poca comodidad, gasto de agua y dolor generado desde el primer momento de su uso.



Figura 2-1: Deportistas sumergidos en hielo.

Fuente: Página web de Cryosalud

2.1.5.2. COLD PACK

Son bolsas de frío sintéticas que pueden alcanzar una temperatura de -17°C , sirven solo para zonas localizadas y no son muy eficientes ya que no mantienen su temperatura durante mucho tiempo.



Figura 2-2: Bolsa de gel (Cold Pack)

Fuente: Página web de NorMed Products

2.1.5.3.SPRAY DE FRÍO

Existe una variedad de sprays que de manera inmediata pueden aliviar el dolor de una lesión, pues actúan instantáneamente. Es usado en lesiones durante la actividad física, por ejemplo un partido de futbol.



Figura 2-3: Spray de frío

Fuente: Página Web de DECATHLON

2.1.5.4.CÁMARAS CRIOGÉNICAS

Este método es el que actualmente se viene implementando en clínicas deportivas como una alternativa a la inmersión en agua helada y los cold packs. Consiste en un baño del usuario en vapor de nitrógeno líquido frío (a una temperatura media de -110 a -190°C) mezclado con aire, durante un periodo corto de tiempo (máximo 3 minutos).



Figura 2-4: Cámara criogénica marca Cryomeditalia

Fuente: Página web de Cryomeditalia

2.1.6. COMPARACIÓN DE LA CRIOTERAPIA VS BAÑOS DE AGUA HELADA

Los baños de agua helada son usados constantemente por deportistas profesionales, tanto como un método post-entrenamiento, como un método de recuperación de lesiones. Pero los efectos de estos baños son totalmente diferentes a los producidos por una cámara criogénica, a continuación se comparan algunos puntos.

Tabla 2-1: Comparación entre uso de cámara criogénica y baños de agua helada

CÁMARA CRIOGÉNICA	BAÑO DE AGUA HELADA	MEJOR OPCIÓN
La sesión dura 3 minutos.	Dura un rango de 15 a 20 minutos.	CÁMARA CRIOGÉNICA
El frío solo penetra 3mm aproximadamente, no afectando a los músculos.	Enfría tejidos profundos, de modo que los músculos pierden capacidad por un periodo de tiempo	CÁMARA CRIOGÉNICA
Pasados 10 minutos después de una sesión de crioterapia el deportista puede seguir con su entrenamiento.	Después de un baño el cuerpo necesita descansar, debido a que los músculos han sido afectados.	CÁMARA CRIOGÉNICA
La temperatura de la piel llega a -1°C en 30-40 segundos.	La temperatura de la piel no baja los 5°C .	CÁMARA CRIOGÉNICA
Debido a que el vapor del N_2 es seco, no se siente dolor, en cambio, se siente bienestar gracias a la liberación de endorfinas.	Debido a que el frío penetra hasta los músculos, el deportista siente dolor.	CÁMARA CRIOGÉNICA

Fuente: Elaboración propia. En base a Tesis de Gina Medina, UCSM, Arequipa, 2000

2.1.7. BENEFICIOS DE CRIOTERÁPIA CON CÁMARA CRIOGÉNICA

Se conocen diferentes estudios de cómo afecta la crioterapia en deportistas y los beneficios que se tienen, a continuación se resumirán las conclusiones de dichos estudios [23]:

- La crioterapia de cuerpo entero (WBC²) no es dañina y no induce efectos negativos en atletas.
- La crioterapia de cuerpo entero reduce las respuestas pro-inflamatorias, disminuye especies moleculares pro-oxidantes y estabiliza las membranas, resultando en efectos altamente positivos en la hemólisis³ inducida por deportes, en daño de células y tejidos, lo que es característico del ejercicio físico.
- Las concentraciones de interleucina⁴ son modificadas, lo que incluye una respuesta anti-inflamatoria.
- Una serie de sesiones en una cámara criogénica causa un incremento significativo en la capacidad y poder anaeróbico de hombres, que es la capacidad del organismo para realizar actividades físicas de corta duración y de alta intensidad.
- Debido a sus efectos homeostáticos⁵, la crioterapia de cuerpo entero también puede tener un papel beneficioso en la función cardiovascular, beneficiando trastornos de estado de ánimo y estados neurodegenerativos.
- Se descubrió también que la crioterapia de cuerpo entero puede tener un rol positivo en el proceso de tratamiento a pacientes con desordenes de ansiedad y depresión.

² WBC.- Whole Body Cryotherapy o Crioterapia de Cuerpo Entero.

³ La hemólisis es el fenómeno de la desintegración de los eritrocitos (glóbulos rojos).

⁴ La interleucina pertenece a un grupo de proteínas que elaboran los leucocitos (glóbulos blancos).

⁵ La homeostasis se refiere al equilibrio de nuestro cuerpo, los mecanismos homeostáticos actúan mediante procesos de retroalimentación y control.

- Se da una rápida segregación de endorfinas (cadenas proteicas liberadas a través de la medula y la sangre) lo que crea una sensación duradera de bienestar (mental y físico)

2.1.8. CONTRAINDICACIONES DE LA CRIOTERÁPIA DE CUERPO ENTERO [23]

- Los usuarios saludables pueden experimentar un incremento transitorio de la presión sanguínea (sistólica y diastólica) de 10 puntos mientras inicia el tratamiento. Por lo que son contraindicados las siguientes dolencias, hipertensión lábil, angina inestable, infarto de miocardio reciente, insuficiencia cardiaca congestiva e insuficiencia renal en etapa final.
- El síndrome Raynaud y la alergia al frío son contraindicados debido al riesgo de reacciones vaso-constrictivas.
- Se recomienda que mujeres embarazadas y niños menores a 10 años eviten la crioterapia, así como cualquier persona incapaz mentalmente de seguir apropiadamente las instrucciones.

2.1.9. NITRÓGENO LÍQUIDO COMPARADO A OTROS MÉTODOS DE CONGELACIÓN

A continuación se comparará el uso de LN_2 versus otras dos posibles alternativas,

- Congelación por anhídrido carbónico.
- Congelación por sistemas mecánicos.

En primer lugar, el nitrógeno pasa de líquido a gas a $-196^{\circ}C$ mientras que el anhídrido carbónico lo hace a $-79^{\circ}C$, lo que supone una diferencia de $117^{\circ}C$, que le da al nitrógeno una mayor rapidez de enfriamiento.

En segundo lugar el nitrógeno se almacena a baja presión (unos $9kg/cm^2$) lo que presenta mucho menor riesgo que el CO_2 que se conserva a $20 kg/cm^2$ y a una

temperatura de -20°C . La vigilancia y seguridad deben controlarse muy cuidadosamente en el caso del CO_2 .

En tercer lugar el CO_2 líquido puede producir atascos en la canalización, debido a que se puede formar nieve carbónica⁶ que bloquea la conducción al pasar de 20 kg/cm² a la presión atmosférica.

Tabla 2-2: Comparación entre el enfriamiento por nitrógeno líquido y CO_2 [18]

ELEMENTO DE COMPARACIÓN	NITRÓGENO	ANHIDRIDO CARBÓNICO	VENTAJA PARA
Temperaturas	-190°C	-79°C	N_2 : Más rapidez al enfriar
Reacciones	Inerte	En contacto con agua produce ácido carbónico	N_2 : Inerte
Almacenamiento	Temperatura ambiente	En frío	N_2 : Más seguro y barato
Seguridad	Inerte, está presente en el aire (78%)	Gas tóxico, produciría asfixia al usuario de la cámara.	N_2 : Más seguro
Seguridad	Baja presión de almacenamiento (1bar man)	20 kg/cm ²	N_2 : Menor presión
Canalización	Sin atascos	Atasco si se produce nieve carbónica	N_2 : Fácil de regular

Fuente: Elaboración propia. En base a Tesis de Gina Medina, UCSM, Arequipa, 2000

⁶ Se llama nieve carbónica o hielo seco al dióxido de carbono CO_2 en estado sólido.

A continuación se comparará el uso del nitrógeno líquido con sistemas mecánicos de refrigeración (por compresión de gases).

En primer lugar la velocidad de descenso de temperatura es mucho mayor con el nitrógeno, ya que se puede enfriar la piel del usuario a 0°C en unos minutos, mientras que los túneles de frío mecánico el tiempo de permanencia del usuario para lograr una temperatura mínima podría pasar los 30 min.

En segundo lugar, el nitrógeno es un gas inerte que se inyecta a una temperatura de -196°C , mientras que los túneles de frío mecánico es el aire que circula a temperaturas más altas (-25 a -40°C).

En tercer lugar, a modo de comparación, el precio de un túnel de enfriamiento de alimento que usa nitrógeno líquido es cuatro veces más barato que un túnel de frío mecánico.

En cuarto lugar los sistemas de generación de frío mecánicos requieren un mantenimiento que es más costoso (4-6% aproximadamente).

En quinto lugar los gastos anuales (fijos + variables) en los que se incluyen los gastos financieros, mantenimiento, electricidad, etc. Son un 35 a 45% superiores en el caso del frío mecánico.

Tabla 2-3: Comparación entre la congelación por nitrógeno líquido y frío mecánico [18]

ELEMENTO DE COMPARACIÓN	NITRÓGENO	FRÍO MECÁNICO	VENTAJA PARA
Velocidad de enfriamiento	3min	30min aproximadamente	N ₂ : Enfría más rápido.
Fluido refrigerante	Nitrógeno (-196°C)	Aire (-25 a -40°C)	N ₂ : temperatura más baja
Precio de un túnel	1	4-6	N ₂ : Menos costo inicial del equipo
Mantenimiento	1%	4%	N ₂ : Menos costo de mantenimiento
Gastos anuales	x/kg de congelado	1.4x/kg de congelado	N ₂ : Menos gastos anuales

Fuente: Elaboración propia. En base a Tesis de Gina Medina, UCSM, Arequipa, 2000

2.1.10. TIPOS DE CÁMARAS CRIOGÉNICAS

Existen básicamente dos tipos de criosaunas según su sistema de suministro de nitrógeno.

2.1.10.1. CÁMARA CON VASO DEWAR

El suministro de nitrógeno líquido proviene de un tanque dewar (no presurizado), su mayor ventaja es la portabilidad de los tanques, su fácil manipulación y en general menor consumo de LN₂.



Figura 2-5:
Criosaua con vaso
dewar,

Fuente: Página web Krion

2.1.10.2. CÁMARA CON TANQUE PRESURIZADO

El suministro de LN_2 se da mediante tanques especiales presurizados (generalmente provistos por el distribuidor de LN_2) los cuales pueden almacenar gran cantidad de LN_2 (más de 100L) por lo que se pueden realizar una mayor cantidad de sesiones con un solo tanque.



Figura 2-6: Criosaua con
tanque presurizado.

Fuente: Página web de CRYONiQ

2.1.11. PRINCIPALES ELEMENTOS DE LA CÁMARA CRIOGÉNICA

2.1.11.1. TANQUE DE NITRÓGENO LÍQUIDO

Existen en forma general dos tipos de tanque de almacenamiento de LN_2 , los tanques simples o dewars, y los tanques presurizados.

A. TANQUE DEWAR NO PRESURIZADO

Los tanques dewar son recipientes que constan de dos frascos separados por un vacío, que se usan para transportar y almacenar gases licuados. Es sensible a daños mecánicos debido a que su cubierta exterior está hecha de aluminio. Debe ser manipulado con cuidado para que el no pierda el vacío que hay entre capas.

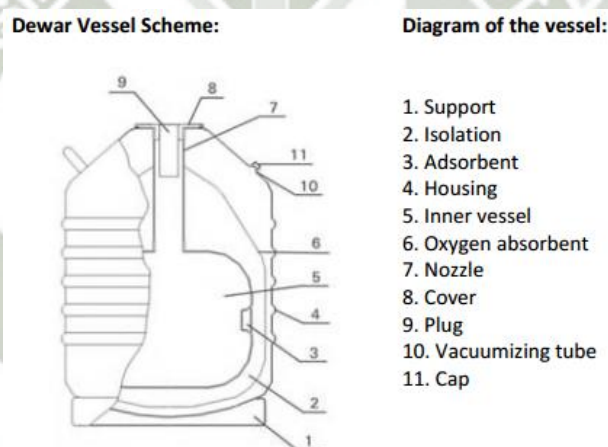


Figura 2-7: Partes de un vaso dewar.

Fuente: Página web CRYONiQ

B. TANQUE PRESURIZADO

Son cilindros de acero inoxidable que incluyen un sistema de control, como medidor de nivel, vaporizador para uso de gas (algunos modelos), manómetro de presión, válvula de alivio, válvula de venteo, etc.

Pueden soportar grandes presiones (hasta 25 bar) y tienen mayor capacidad de almacenamiento que los dewar convencionales (hasta 800L).

Algunas ventajas de los contenedores criogénicos son:

1. Mucha mayor capacidad de almacenamiento.
2. Los líquidos se pueden almacenar a bajas presiones.
3. El cambio de envase es menos frecuente, optimizando el costo de producción.

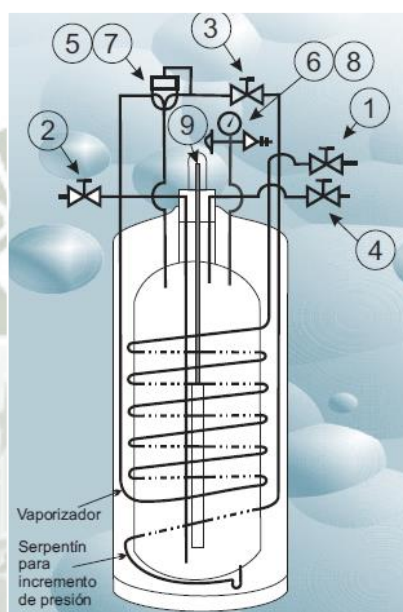


Figura 2-8: Partes de un tanque presurizado (CRIOGAS®)

Fuente: Brochure de Criogas

Las partes enumeradas de la imagen anterior se pueden observar a continuación:

- (1). Válvula fase gas - válvula para extracción de producto en fase gas
- (2). Válvula de líquido/llenado - empleada para llenado en fase líquida o en operaciones de extracción de líquido.
- (3). Válvula de control de presión - Empleada para bloquear (abrir/cerrar) el regulador que controla la presión
- (4). Válvula de venteo - usada para ventear la presión.

- (5). Manifold de control de presión – Usada para mantener automáticamente la presión.
- (6). Manómetro - Indicador de la presión interna del cilindro.
- (7). Regulador mezclador-Usada para mantener automáticamente la presión.
- (8). Válvula de alivio de presión - usada para limitar la presión en el dewar.
- (9). indicador de nivel de líquido - Empleado para checar el contenido liquido en el dewar.

2.1.11.2. CABINA

La cabina de la cámara tiene forma cilíndrica de modo que el usuario entre parado en ella, con la cabeza expuesta para que la respiración sea de aire fresco a temperatura ambiente, para personas de menor estatura se puede usar un sistema de elevación o cojines.

La cámara es tapizada y tiene un punto de entrada del vapor aproximadamente en la mitad, siendo el vapor dispersado por una pieza triangular.

La cámara cuenta con una puerta que no tiene seguro, de modo que el usuario pueda salir de la cámara durante una sesión sin problemas.



Figura 2-9: Vista del interior de cámara.

Fuente: Página web Healthy cold

2.1.11.3. GENERADOR DE VAPOR

Consiste en una pequeña cámara que incluye el evaporador y un mixer de aire-nitrógeno. El nitrógeno líquido entra al generador de vapor donde primero es evaporado en un serpentín con flujo externo forzado de aire, luego el nitrógeno evaporado se descarga en una cámara donde se mezcla con aire seco a presión ambiental, posteriormente ambos son transportados a la cabina mediante un ventilador. A continuación se muestra el esquema del generador de vapor.

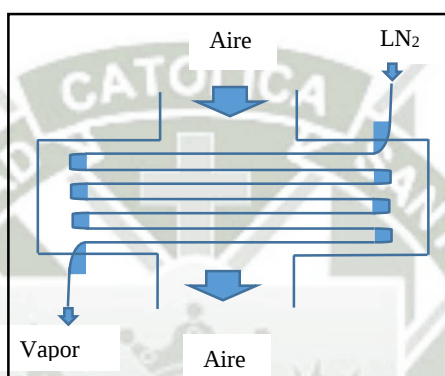


Figura 2-10: Esquema de evaporador de LN_2 .

Fuente: Elaboración propia

2.1.11.4. TERMÓMETRO

En el campo de la criogenia, como en muchas otras áreas de la ciencia e industria, la precisión con que se mide la temperatura es un asunto altamente crítico. Sin embargo la medición de la temperatura, no es fácil de lograr debido a que implica la medición de muchas otras propiedades físicas de la sustancia. A diferencia de otras propiedades como la longitud o el volumen, la temperatura no puede ser medida directamente.

Como lo indicó Scott (1959), la importancia de escoger el termómetro o el método más apropiado para una situación específica no es tan obvio. Pues se tienen limitaciones con respecto a: (1) precisión, (2) sensibilidad, (3) estabilidad, (4) simplicidad, (5) efecto Joule de calentamiento, (6) conducción de calor, (7)

conveniencia y (8) costo. Para cumplir con estos criterios la mayoría de mediciones en ingeniería son hechas con termómetros de resistencias metálicas, termómetros de resistencias no-metálicas y termopilas.

2.1.11.5. VÁLVULA SOLENOIDE

Las válvulas solenoides son válvulas de cierre operadas eléctricamente. La más común es la válvula normalmente cerrada (NC Normally Closed), pero también hay disponibles normalmente abiertas (NO Normally Open), existen dos clasificaciones de válvulas solenoides [16]:

- Acción directa
- Operadas por piloto

En las válvulas solenoides de acción directa, como la que se muestra en la figura 2-11, la fuerza magnética desarrollada por el bobinado eléctrico retrae al vástago y permite el paso del fluido.

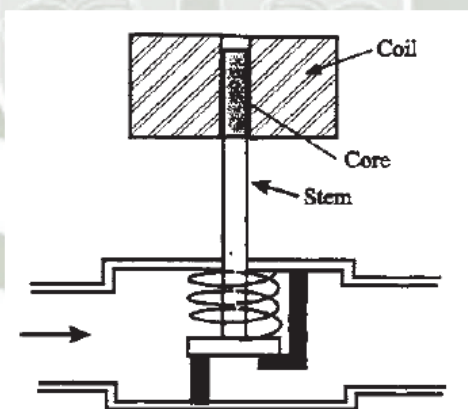


Figura 2-11: Válvula solenoide de acción directa.

Fuente: Industrial Refrigeration Handbook, Stoecker

Una válvula solenoide debe ser seleccionada para que sea capaz de abrir contra la máxima presión diferencial operativa (MOPD Maximun Operating Differential Pressure), una característica listada en el catálogo del fabricante.

En las válvulas solenoides operadas por piloto, un pequeño solenoide se abre para aplicar presión aguas arriba en un pistón. Este pistón tiene un área más grande que el tapón de la válvula la cual está también sujeta a la presión aguas arriba, con lo que la presión en el pistón abre la válvula. Un diseño de solenoide operado por piloto es mostrado en la figura 2-12 donde la abertura del solenoide piloto permite que la presión aguas arriba en M pase a través del pasaje hasta N.

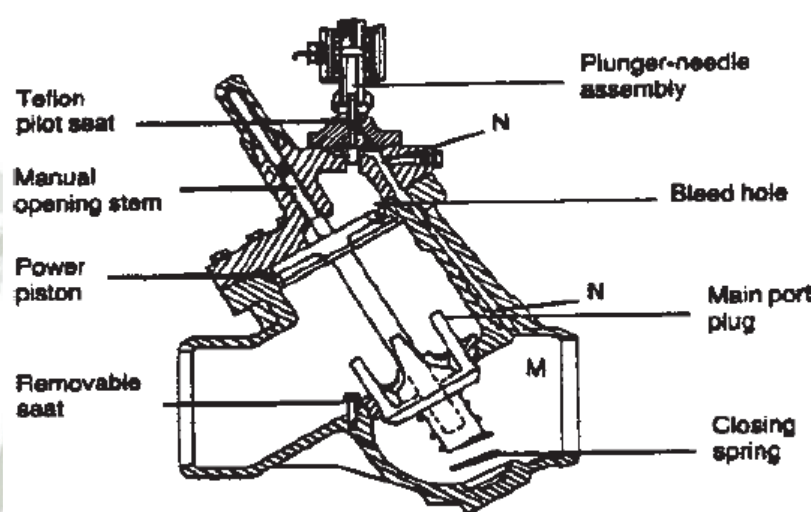


Figura 2-12: Válvula solenoide operada por piloto.

Fuente: *Industrial Refrigeration Handbook*, Stoecker

2.2.TERMODINÁMICA A TEMPERATURAS CRIOGÉNICAS

Las herramientas fundamentales para el análisis a bajas temperaturas son la primera y segunda ley de la termodinámica [3]. Asumiendo que la energía cinética y potencial en la primera ley son despreciables (frecuentemente esta es una asunción válida), la primera ley para un proceso de flujo estable puede ser simplificada a,

$$\Delta H = Q - W_s$$

Donde ΔH es la sumatoria de las diferencias de entalpía de todos los fluidos que entran y salen del sistema. Q es la sumatoria de todos los intercambios de calor entre el sistema y los alrededores, y W_s es el trabajo neto del eje.

La evaluación de la capacidad de refrigeración en un ciclo de refrigeración dependerá del proceso seleccionado. Por ejemplo, si el proceso de refrigeración es isotérmico, la capacidad de refrigeración puede ser evaluada usando la relación,

$$Q = \dot{m}T(S_2 - S_1)$$

Donde T es la temperatura a la cual toma lugar la refrigeración y los subíndices 1 y 2 se refieren a la entrada y salida de los procesos. De la misma manera, si un proceso de refrigeración incluye solo la vaporización de un líquido saturado a una presión constante, la evaluación de la capacidad se reduce a,

$$Q = \dot{m}h_{fg}$$

Donde h_{fg} es el calor específico de vaporización del refrigerante. Si el proceso se da a presión constante con la absorción únicamente de calor sensible por el refrigerante, la capacidad puede evaluarse como,

$$Q = \dot{m}(H_1 - H_2)$$

2.3. TRANSFERENCIA DE CALOR

Todos los sistemas criogénicos operan a muy bajas temperaturas. Este hecho requiere un fuerte entendimiento de la transferencia de calor y tecnologías asociadas. Debido a que el calor siempre fluye de lo caliente a lo frío y no puede ser detenido, debe ser controlado es el aspecto del diseño de la transferencia de calor. En unos casos (como la gasificación de fluidos criogénicos) la habilidad de maximizar la cantidad de calor introducida al fluido es la condición de diseño. Debido a la naturaleza de la diferencia de temperatura entre el mundo en que vivimos y el extremo de operar sistemas criogénicos, un número de problemas únicos se presentan a sí mismos. Estos incluyen pero no quedan limitados a, (1) variabilidad de las propiedades de los materiales, (2) aislamiento térmico, (3) diferencias en propiedades del fluido para convección cercana al punto crítico, (4) efectos de la radiación térmica, (5) características de diseño y operación de equipos, (6) selección de instrumentos y sensores de control, (7) transferencia de fluidos criogénicos

y (8) disposición y/o control de la evaporación del fluido. En el presente proyecto se tratará de abarcar cada uno de estos problemas para llegar a un diseño efectivo.

La transferencia de calor a bajas temperaturas está gobernada por los mismos mecanismos presentes a temperatura ambiente [3] y temperaturas elevadas: conducción, convección y radiación. No es algo sorprendente, por lo tanto, todas las ecuaciones generales son apropiadas para aplicaciones a bajas temperaturas siempre y cuando sean ajustadas para los cambios de propiedades en materiales y fluidos.

2.4. CLASIFICACIÓN DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR

Los problemas de transferencia de calor a menudo se clasifican como estacionarios (también llamados estables) o transitorios (también llamados no estables o no estacionarios). El término estacionario implica que no hay cambio con el tiempo en cualquier punto dentro del medio, en tanto que transitorio implica variación con el tiempo o dependencia con respecto al tiempo. Por lo tanto, la temperatura o el flujo de calor permanecen inalterados con el transcurso del tiempo durante la transferencia de calor estacionario a través de un medio (figura 2-13), en cualquier ubicación.

La mayoría de problemas de transferencia de calor en la práctica son de naturaleza transitoria, pero suelen analizarse bajo condiciones que se suponen estacionarias, ya que los procesos estacionarios son más fáciles de analizar [2].

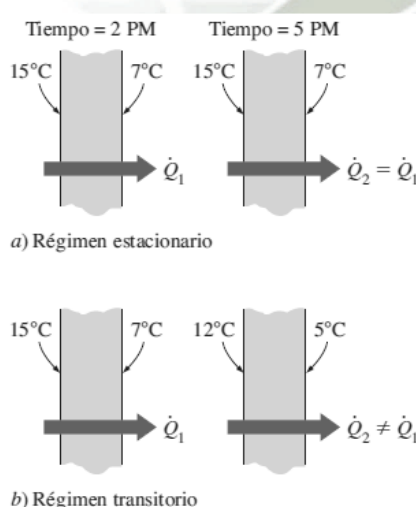


Figura 2-13: Comportamiento del régimen estacionario(a) y transitorio (b).

Fuente: *Transferencia de calor y masa, Cengel y Ghajar, 4ed.*

2.5. TRANSFERENCIA DE CALOR CONDUCTIVA

La conducción es la transferencia de energía de las partículas más energéticas de una sustancia hacia las adyacentes menos energéticas, como resultado de interacciones entre esas partículas. La conducción puede tener lugar entre sólidos, líquidos o gases. En los gases y líquidos la conducción se debe a las colisiones y a la difusión de las moléculas durante su movimiento aleatorio. En los sólidos se debe a la combinación de las vibraciones de las moléculas en una retícula y al transporte de energía por parte de los electrones libres.

Se conoce que la razón de transferencia de calor a través de un medio en una dirección específica (por ejemplo en la dirección x) es proporcional a la diferencia de temperaturas entre uno y otros lados del medio y al área perpendicular a la dirección de la transferencia de calor, pero es inversamente proporcional a la distancia en esa dirección. Esto se expresó en forma diferencial por la ley de Fourier de la conducción de calor en forma unidimensional, como,

$$\dot{Q}_{cond} = -kA \frac{dT}{dx} \quad [W]$$

Donde k es la conductividad térmica del material, que es una medida de la capacidad del material para conducir el calor y dT/dx es el gradiente de temperatura, es decir, la pendiente de la curva sobre el diagrama T - x (figura 2-14)

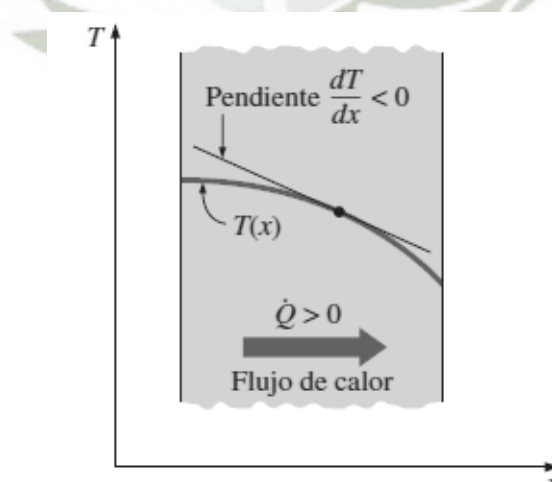


Figura 2-14: Diagrama T - x de la conducción del calor.

Fuente: *Transferencia de calor y masa, Cengel y Ghajar, 4ed.*

En general la conductividad térmica de un material varía con la temperatura, pero se pueden obtener resultados suficientemente exactos al usar un valor constante para la conductividad térmica a la temperatura promedio, además que la transferencia de calor conductiva es generalmente despreciable comparada con la convectiva.

2.6. TRANSFERENCIA DE CALOR CONVECTIVA

La convección es el modo de transferencia de energía entre una superficie sólida y el líquido o gas adyacente que está en movimiento y comprende los efectos combinados de la conducción y el movimiento de fluidos. Entre más rápido es el movimiento de un fluido, mayor es la transferencia de calor por convección. En ausencia de cualquier movimiento masivo del fluido, la transferencia de calor entre la superficie sólida y el fluido es puramente por conducción.

A pesar de la complejidad de la convección, se observa que la rapidez de transferencia de calor por convección es proporcional a la diferencia de temperatura y se expresa de forma conveniente por la ley de Newton del enfriamiento como,

$$\dot{Q}_{conv} = hA_s(T_s - T_{\infty}) \quad [W]$$

Donde h es el coeficiente de transferencia de calor por convección, en W/m^2K , A_s es el área superficial a través de la cual tiene lugar la transferencia de calor por convección, T_s es la temperatura de la superficie y T_{∞} es la temperatura del fluido suficientemente alejado de esta superficie.

El coeficiente de transferencia convectiva h no es una propiedad del fluido. Es un parámetro que se determina en forma experimental y cuyo valor depende de todas las variables que influyen sobre la convección, como la configuración geométrica de la superficie, la naturaleza del movimiento del fluido, las propiedades de este y la velocidad masiva del mismo. En la tabla 2-4 se dan valores típicos de h ,

Tabla 2-4: Valores típicos del coeficiente de transferencia de calor por convección

Tipo de convección	h , $W/m^2 \cdot ^\circ C^*$
Convección libre de gases	2-5
Convección libre de líquidos	10-1 000
Convección forzada de gases	25-250
Convección forzada de líquidos	50-20 000
Ebullición y condensación	2 500-100 000

*Multiplíquese por 0.176 para convertir a $Btu/h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F$.

Fuente: *Transferencia de calor y masa, Cengel y Ghajar, 4ed.*

2.6.1. CONVECCIÓN EXTERNA FORZADA

Los campos de flujo y las configuraciones geométricas para la mayor parte de los problemas de flujo externo son demasiado complicados para ser resueltos analíticamente y, por lo tanto se debe confiar en las correlaciones basadas en datos experimentales. Para nuestro caso, de un banco de tubos, existen ecuaciones empíricas para poder desarrollar los cálculos.

La velocidad del fluido va desde cero en la superficie (la condición de no deslizamiento) hasta el valor del flujo libre, lejos de esa superficie, y el subíndice “infinito” sirve como un recordatorio de que se trata de un valor a distancia, donde

no se siente la presencia del cuerpo. En el diseño, suele suponerse por conveniencia que la velocidad corriente arriba es uniforme y estacionaria.

Las propiedades de un fluido en la capa límite (figura 2-15) varían desde T_s en la superficie hasta alrededor de T_∞ en el borde exterior de esa capa.

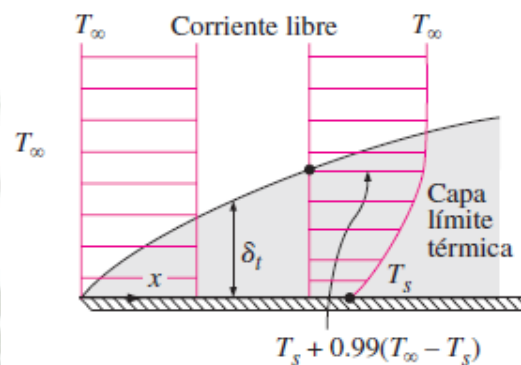


Figura 2-15: Capa límite térmica sobre una placa plana (el fluido está más caliente que la superficie de la placa)

Fuente: *Transferencia de calor y masa, Cengel y Ghajar, 4ed.*

Las propiedades del fluido también varían con la temperatura y, por consiguiente, con la posición a lo largo de la capa límite. Para tomar en consideración la variación de las propiedades con la temperatura, las propiedades del fluido suelen evaluarse a la llamada temperatura de película, definida como:

$$T_f = \frac{T_s + T_\infty}{2}$$

La cual es el promedio aritmético de las temperaturas de la superficie y de flujo libre.

2.6.1.1.FLUJO ALREDEDOR DE TUBOS

En la práctica con frecuencia se encuentra flujo que pasa alrededor de cilindros, para el presente proyecto, este es el caso del aire que fluirá alrededor del generador de vapor.

La longitud característica para un cilindro circular se toma igual al *diámetro externo* D . por consiguiente el número de Reynolds se define como $Re = Re_D = VD/\nu$, donde V es la velocidad uniforme del fluido al aproximarse al cilindro.

El flujo cruzado sobre un cilindro exhibe patrones complejos, como se muestra en la figura 2-16. El fluido que se aproxima al cilindro se ramifica y rodea al cilindro, formando una capa límite que lo envuelve.

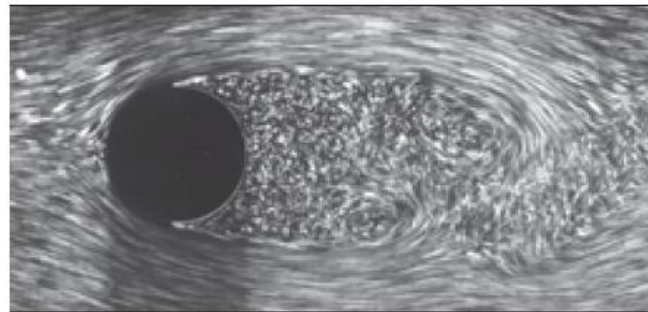


Figura 2-16: Separación de capa límite laminar con una estela turbulenta; $Re=2000$

Fuente: *Transferencia de calor y masa, Cengel y Ghajar, 4ed.*

2.6.1.2. COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR

En general, los flujos alrededor de cilindros comprenden separación del flujo, el cual es difícil de manejar en forma analítica. Por lo tanto, los flujos de ese tipo deben estudiarse de manera experimental o numérica. De hecho, el flujo alrededor de cilindros ha sido estudiado por numerosos investigadores y se han desarrollado varias relaciones empíricas para el coeficiente de transferencia de calor.

De las varias relaciones de las que se dispone en la literatura para el número de Nusselt promedio en lo relativo al flujo cruzado sobre un cilindro, se presenta la propuesta por Churchill y Bernstein:

$$Nu = 0.3 + \frac{0.62 Re^{0.5} Pr^{1/3}}{\left(1 + \left(\frac{0.4}{Pr}\right)^{1/4}\right)^{1/4}} \left[1 + (Re/282000)^{5/8}\right]^{4/5}$$

Donde, Re: Número de Reynolds

Pr: Número de Prandtl del aire

Esta relación es bastante completa en el sentido de que correlaciona bien los datos de los que se dispone para $Re Pr > 0.2$. Las propiedades del fluido evalúan a la temperatura de película $T_f = \frac{1}{2}(T_\infty + T_s)$, la cual es el promedio de las temperaturas de flujo libre y de la superficie.

El número de Nusselt promedio para los flujos alrededor de cilindros se relaciona con el coeficiente de transferencia de calor de la siguiente forma:

$$Nu = \frac{h D_h}{k}$$

Donde, h: Coef. de transferencia de calor exterior [W/m² K]

D_h: Diámetro hidráulico (externo) del tubo [m]

k: Conductividad térmica del aire [W/m K]

A pesar que el método de cálculo descrito anteriormente es utilizado en intercambiadores de calor, este método no toma en cuenta las aletas, por lo que a continuación se describirá un método alternativo de cálculo del coeficiente de transferencia de calor externo,

El método de la ecuación McQuinson es uno de los métodos usados en el cálculo del coeficiente de convección en bancos de tubos con aletas planas [8].

Para evaporadores de cuatro filas de tubos, McQuinson, da la siguiente ecuación [8]:

$$j_4 = 0.0014 + 0.2618 Re_D^{-0.4} \left(\frac{A_e}{A_{td}} \right)^{-0.15}$$

Donde, A_e: Área exterior contando aletas y tubo [m²]

A_{td} : Área de tubo desnudo [m^2]

Re_D : Número de Reynolds

La relación A_e/A_{td} puede determinarse a partir de:

$$\frac{A_e}{A_{td}} = \frac{A_e}{A_i} \frac{A_i}{A_{td}} = R \frac{D_i}{D_e}$$

Donde, A_i : Área interior del tubo [m^2]

R : Relación área exterior – área interior

D_i : Diámetro interior [m]

D_e : Diámetro exterior [m]

j es el factor jota, cuyo valor es:

$$j = St Pr^{2/3}$$

Donde St es el número de Stanton, definido de la siguiente forma:

$$St = \frac{h}{\rho V_{aire} c_{pm}}$$

Donde, h : Coeficiente de convección exterior [$W/m^2 K$]

ρ : Densidad del aire [kg/m^3]

V_{aire} : Velocidad del aire [m/s]

C_{pm} : Calor específico del aire por kg de aire seco [$J/kg K$]

2.6.1.3.SUPERFICIE DE INTERCAMBIO PARA DESECACIÓN

Los evaporadores usados para la desecación de aire, son conocidos por ser usados en el acondicionamiento de aire para uso doméstico. Los evaporadores para desecación de aire son intercambiadores de calor, constituidos por un banco de tubos aleteados, interconectados en un cierto número de pasos, por el interior circula un refrigerante y por el exterior aire en flujo transversal.

Si el refrigerante es un fluido que se evapora, la batería se llama de expansión seca. Como es el caso del presente proyecto.

Tratándose de un intercambiador de calor bifluido entre el aire y el nitrógeno líquido, de debe incluir el estudio de la *entalpia potencial* [9].

Si el vapor de agua presente en el aire no llega a condensar en la superficie de los tubos o aletas, se trata de un intercambiador convencional, que deberá diseñarse en base a la eficiencia o la determinación del factor corrector de la temperatura media logarítmica. Sin embargo si el vapor de agua condensa, el intercambio de calor se produce a través de la película de agua condensada.

Si bien es cierto que el evaporador del presente proyecto, trabaja con nitrógeno en el rango de -193°C de temperatura, en el presente proyecto se modeló el evaporador de modo que, a pesar de la temperatura criogénica, se usen temperaturas en el rango de -30°C ⁷

Otro factor importante es que los desecantes de aire comunes, al no llegar a temperaturas bajas, no congelan el condensado, a diferencia del evaporador de nuestro proyecto, es decir, lo más probable es que al circular el nitrógeno por el interior de los tubos, se formará una capa de hielo en la parte exterior (figura 2-17⁸). El modelo matemático que se utilizará, toma en consideración una capa de agua, pero debido a que no se encontraron correlaciones que sirvan para capas de

⁷ El uso de la temperatura de -30°C (y no la temperatura real de -193°C) se debe a que las correlaciones y cálculos, necesarios para hallar el área de las aletas, da como resultado valores imaginarios cuando se utilizan temperaturas muy bajas.

⁸ Figura tomada de: Accu-Freeze, para más imágenes visitar:
www.cob-industries.com/accufreeze.aspx

hielo. En el presente proyecto la capa de hielo se tomará como si fuese una capa de agua.



Figura 2-17: Formación de hielo alrededor de tubo de cobre que transporta LN₂

Fuente: Página web Accu-Freeze

2.6.1.4. MODELO MATEMÁTICO PARA ÁREA DE ALETAS

La transferencia de energía del aire al nitrógeno se puede considerar que se realiza en dos etapas: del aire a la superficie mojada (en realidad congelada) y de la superficie mojada al nitrógeno. En el cálculo que sigue se supone que la temperatura de la interfase y la del agua de la superficie mojada son iguales.

El primer salto térmico vendrá regulado por la entalpía potencial (ver figura 2.-18):

$$\delta \dot{Q} = \frac{h_{ai}}{c_{pm}} dA_e (h_a - h_i)$$

- Donde,
- h_{ai} : Coeficiente de convección aire-interfase [W/m² K]
 - h_a : Entalpía del aire [kJ/kg]
 - h_i : Entalpía del aire en las proximidades de la interfase [kJ/kg]

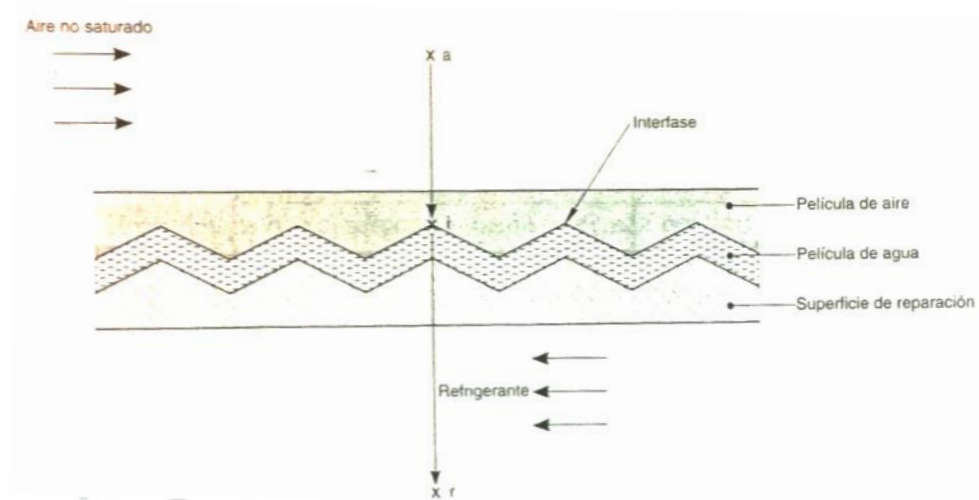


Figura 2-18: Intercambio energético entre el aire y el refrigerante, separados por una superficie horizontal.

Fuente: *Procesos de Vaporización*, Miranda A. 1997.

El segundo salto térmico vendrá regulado por la ecuación de transmisión de calor convencional:

$$\delta \dot{Q} = h_{iw} dA_i (t_i - t_r)$$

Donde,

- h_{iw} : Coeficiente de convección agua-interfase [$\text{W/m}^2 \text{ K}$]
- t_i : Temperatura interfase (lámina de agua) [K]
- t_r : Temperatura refrigerante [K]

Si se divide las dos ecuaciones diferenciales anteriores miembro a miembro, se obtiene:

$$\frac{t_i - t_r}{h_a - h_i} = \frac{h_{ai} R}{h_{iw} c_{pm}}$$

Donde R es la relación dA_e/dA_i , supuesta constante.

El proceso de resolución empieza dividiendo la superficie en tramos y luego se calcula el área de cada tramo mediante aproximaciones lineales. Para determinar

la temperatura t_i en cada sección se utiliza la ecuación anteriormente descrita, sustituyendo h_i por una función de t_i (Estas ecuaciones empíricas se muestran en el **Anexo 1** y dependen de la temperatura t_i)

Así por ejemplo, para tres porciones, el esquema de nomenclatura sería el indicado en la figura 2-19.

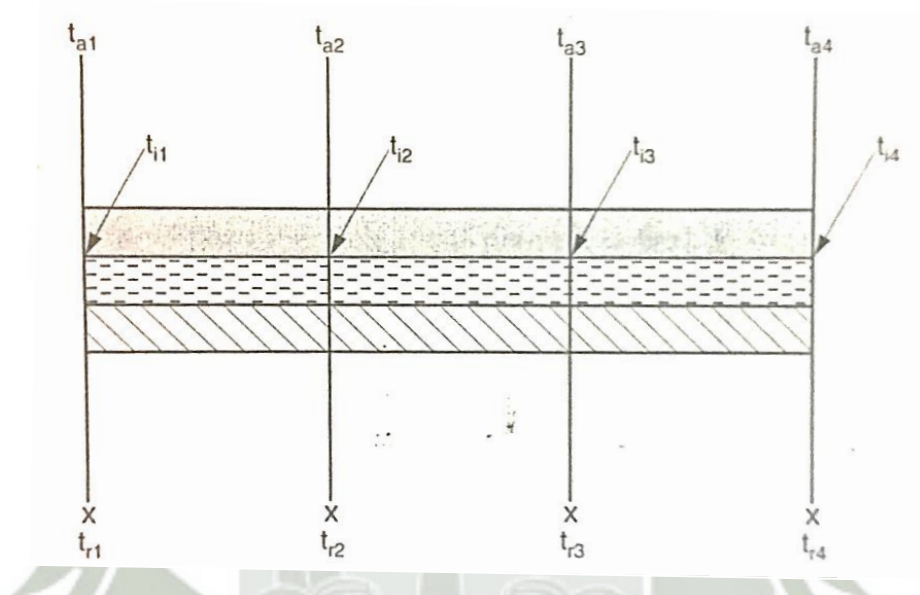


Figura 2-19: División de un serpentín de enfriamiento y desecación de aire, en tres porciones.

Fuente: *Procesos de Vaporización*, Miranda A. 1997.

Para calcular el área de la primera porción, se aplica la ecuación:

$$A_{12} \frac{h_{ai}}{c_{pm}} (h_a - h_i)_{m12} = \dot{m}_a (h_{a1} - h_{a2})$$

Donde $(h_{a1}-h_{a2})_{m12}$ es la entalpía potencial media en 1-2; se puede determinar a partir de:

$$(h_a - h_i)_{m12} = \frac{(h_{a1} - h_{i1}) + (h_{a2} - h_{i2})}{2}$$

Para el cálculo de las entalpías del aire, se fija el estado del aire a la salida del serpentín mediante la asignación de un valor a la temperatura de bulbo húmedo.

A partir de la temperatura húmeda, se calcula h_{an} y a partir de h_{a1} y h_{an} todas las demás.

En la figura 2-20 se ha representado de forma cualitativa el proceso de enfriamiento y secado del aire, en serpentín, sobre el diagrama psicrométrico.

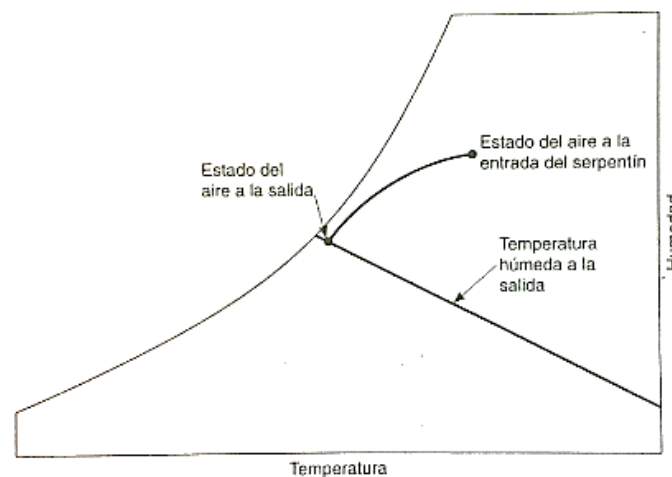


Figura 2-20: Representación cualitativa del proceso que experimenta el aire en un serpentín de enfriamiento y desecación.

Fuente: *Procesos de Vaporización*, Miranda A. 1997.

El estado de salida del aire no está determinado al fijar la temperatura húmeda; sin embargo, la entalpía del aire a la salida si queda determinada, puesto que la entalpía es función de la humedad relativa y la temperatura:

$$h = h(t, \varphi)$$

O bien solo de la temperatura húmeda:

$$h = h(TBH)$$

Por lo tanto utilizando la apropiada ecuación de saturación de la entalpía, se puede hallar esta, sustituyendo la temperatura por la temperatura húmeda.

2.6.1.5.FLUJO SOBRE BANCO DE TUBOS

En la práctica es común encontrar flujo cruzado sobre bancos de tubos en equipos de transferencia de calor, para este tipo de flujos, se debe tener en cuenta que los tubos influyen sobre el patrón del flujo y el nivel de turbulencia aguas abajo, y por consiguiente, sobre la transferencia de calor hacia ellos o desde ellos, como se muestra en la figura 2-21:

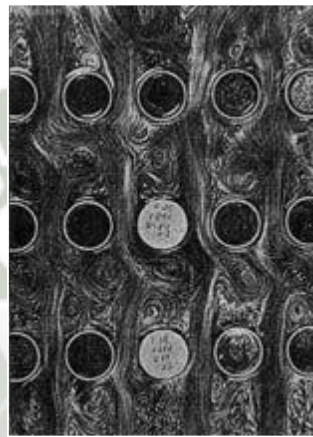


Figura 2-21: Patrón de flujo para banco de tubos alineados

Fuente: *Transferencia de calor y masa, Cengel y Ghajar, 4ed.*

Los tubos en un banco suelen disponerse alineados o escalonados en la dirección del flujo, como se muestra en la figura 2-22. El diámetro exterior del tubo D se toma como longitud característica.

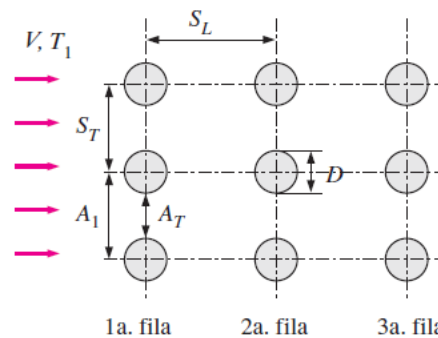


Figura 2-22: Configuración de los tubos de los bancos alineados (A_1 y A_T son las áreas de flujo en los lugares indicados y L es la longitud de los tubos)

Fuente: *Transferencia de calor y masa, Cengel y Ghajar, 4ed.*

Conforme el fluido entra en el banco, el área del flujo disminuye de $A_1 = S_T L$ hasta $A_T = (S_T - D)L$ entre los tubos y, como consecuencia, la velocidad del flujo aumenta. En los bancos de tubos las características del flujo son dominadas por la velocidad máxima V_{max} que se tiene dentro del banco más que por la velocidad de aproximación V . Por lo tanto el número de Reynolds se define sobre la base de la velocidad máxima como,

$$Re_D = \frac{V_{max} D}{\nu}$$

La velocidad máxima se tiene en el área mínima de flujo entre los tubos y la conservación de masa⁹ se puede expresar como $\rho V A_1 = \rho V_{max} A_T$, o bien, $V S_T = V_{max} (S_T - D)$. Entonces la velocidad máxima queda como:

$$V_{max} = \frac{S_T}{S_T - D} V$$

⁹ Para que se cumple la ecuación de la velocidad máxima, se asume que la densidad del aire en todos los puntos es constante.

La naturaleza del flujo alrededor de un tubo en la primera fila se asemeja a un solo tubo en línea. Sin embargo, la naturaleza del flujo alrededor de un tubo en la segunda fila y de las subsiguientes es muy diferente, debido a las estelas formadas y a la turbulencia causada por los tubos corriente arriba. El nivel de turbulencia, y por consiguiente, el coeficiente de transferencia de calor se incrementan con el número de filas corriente arriba.

El flujo sobre banco de tubos se estudia de manera experimental, ya que es demasiado complejo como para tratarse de forma analítica. Se han propuesto varias correlaciones, todas basadas en datos experimentales para el número de Nusselt promedio para el flujo cruzado sobre banco de tubos. Más recientemente Zukauskas ha propuesto correlaciones cuya forma general es,

$$Nu_D = \frac{hD}{k} = C Re_D^m Pr^n \left(\frac{Pr}{Pr_s} \right)^{0.25}$$

Donde los valores de las constantes C , m y n dependen del valor del número de Reynolds. En la tabla 2-5 se dan estas relaciones explícitamente.

Tabla 2-5: Correlaciones del número de Nusselt para flujo cruzado sobre banco de tubos, para $N_L > 16$ y $0.7 < Pr < 500$

Configuración	Rango de Re_D	Correlación
Alineados	0-100	$Nu_D = 0.9 Re_D^{0.4} Pr^{0.36} (Pr/Pr_s)^{0.25}$
	100-1 000	$Nu_D = 0.52 Re_D^{0.5} Pr^{0.36} (Pr/Pr_s)^{0.25}$
	1 000- 2×10^5	$Nu_D = 0.27 Re_D^{0.63} Pr^{0.36} (Pr/Pr_s)^{0.25}$
	2×10^5 - 2×10^6	$Nu_D = 0.033 Re_D^{0.8} Pr^{0.4} (Pr/Pr_s)^{0.25}$
Escalonados	0-500	$Nu_D = 1.04 Re_D^{0.4} Pr^{0.36} (Pr/Pr_s)^{0.25}$
	500-1 000	$Nu_D = 0.71 Re_D^{0.5} Pr^{0.36} (Pr/Pr_s)^{0.25}$
	1 000- 2×10^5	$Nu_D = 0.35 (S_T/S_L)^{0.2} Re_D^{0.6} Pr^{0.36} (Pr/Pr_s)^{0.25}$
	2×10^5 - 2×10^6	$Nu_D = 0.031 (S_T/S_L)^{0.2} Re_D^{0.8} Pr^{0.36} (Pr/Pr_s)^{0.25}$

*Todas las propiedades, excepto Pr_s , se deben evaluar a la media aritmética de las temperaturas de admisión y de salida del fluido (Pr_s se debe evaluar a T_s).

Fuente: *Transferencia de calor y masa, Cengel y Ghajar, 4ed.*

La incertidumbre en los valores del número de Nusselt obtenido a partir de estas relaciones es de $\pm 15\%$. Nótese que todas las propiedades, excepto Pr_s se deben evaluar a la temperatura media aritmética del fluido determinada a partir de:

$$T_m = \frac{T_i + T_e}{2}$$

Donde T_i y T_e son las temperaturas del fluido en la admisión y en la salida del banco de tubos, respectivamente.

Las relaciones del número de Nusselt promedio de la tabla 2-5 son para bancos de tubos con 16 o más filas. También se pueden usar esas relaciones para bancos de tubos con $N_L < 16$, siempre que se modifique como,

$$Nu_{D,N_L < 16} = F Nu_D$$

Donde F es un factor de corrección cuyos valores se dan en la tabla 2-6 para $Re_D > 10000$, el factor de corrección es independiente del número de Reynolds.

Tabla 2-6: Factor de corrección F que debe usarse en $Nu_{D,NL} < 16 = F Nu_D$ para $N_L > 16$ y $Re_D > 1000$

N_L	1	2	3	4	5	7	10	13
Alineados	0.70	0.80	0.86	0.90	0.93	0.96	0.98	0.99
Escalonados	0.64	0.76	0.84	0.89	0.93	0.96	0.98	0.99

Fuente: Transferencia de calor y masa, Cengel y Ghajar, 4ed.

Una vez que se conoce el número de Nusselt y, por lo tanto el coeficiente de transferencia de calor promedio para un banco de tubos, se puede determinar la transferencia de calor a partir de la ley de Newton de enfriamiento, mediante una diferencia de temperaturas apropiada ΔT . Posteriormente, en este capítulo, se demostrará que la diferencia de temperaturas apropiada es la diferencia media logarítmica de temperaturas, ΔT_{lm} , definida como:

$$\Delta T_{ml} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \right)}$$

También se demuestra que la temperatura de salida del fluido Se te puede determinar a partir de:

$$T_e = T_s - (T_s - T_i) \exp\left(-\frac{A_s h}{\dot{m} C_p}\right)$$

Donde,

h: Coef. de transferencia de calor exterior [W/m² K]

A_s: Área superficial de transferencia de calor [m²]

ṁ: Flujo másico de aire [kg/s]

C_p: Calor específico del aire [J/kg K]

T_s: Temperatura superficial del serpentín [K]

2.6.1.6.CAIDA DE PRESIÓN EN BANCO DE TUBOS

La caída de presión es una medida de la resistencia que los tubos ofrecen al flujo sobre ellos y se expresa como:

$$\Delta P = N_L f \chi \frac{\rho V_{max}^2}{2}$$

Donde f es el factor de fricción y χ es el factor de corrección, las gráficas de ambos se dan en la figura 2-23, contra el número de *Reynolds*, con base en la velocidad máxima V_{max} .

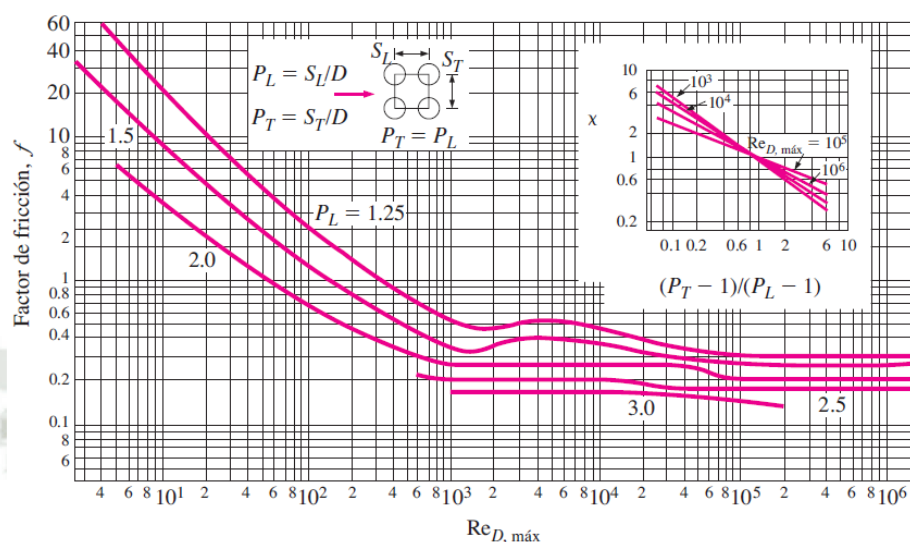


Figura 2-23: Factor de fricción y factor de corrección para bancos de tubos (tomada de Zukauskas, 1985)

Fuente: *Transferencia de calor y masa, Cengel y Ghajar, 4ed.*

Se puede observar, que el cálculo descrito no toma en consideración, como las aletas y la formación de hielo en la superficie afectan la caída de presión en el interior del evaporador, pero a pesar de esto para el presente proyecto se asumirá que la caída de presión exterior total se puede calcular a partir de la formula descrita anteriormente¹⁰.

2.6.2. CONVECCIÓN INTERNA FORZADA

Aunque la teoría del flujo de fluidos está comprendida razonablemente bien, soluciones teóricas solo son obtenidas para unos cuantos casos sencillos, como el de un flujo laminar completamente desarrollado en un tubo circular. Por lo tanto, para

¹⁰ Se pudo apreciar en una investigación de la Universidad de Illinois, que tanto las aletas como el condensado que se forma alrededor de tubos y aletas, afectan la caída de presión, pero para demostrarlo se recurrió a estudios en prototipos, para más información revisar [13]

la mayor parte de los fluidos se debe buscar apoyo en resultados experimentales y relaciones empíricas, y no en soluciones analíticas que permitan conocer todas las variables desconocidas a base de las variables dadas. Cabe advertir que los resultados experimentales son obtenidos en condiciones de laboratorio controlados de manera cuidadosa y que no hay dos sistemas que sean exactamente semejantes, no se debe ser ingenuo como para ver los resultados obtenidos como exactos.

Se debe tener en cuenta que no es lo mismo calentar un líquido, a evaporarlo, pues son dos procesos totalmente distintos, por lo que para realizar un análisis correcto del intercambiador de calor del presente proyecto se debe tener en cuenta todos los factores que implica evaporar el nitrógeno líquido. Este tema se desarrollara más a fondo en el capítulo 2.8. *Ebullición en Flujo*.

2.7.TRANSFERENCIA DE CALOR POR RADIACIÓN

La radiación es la energía emitida por la materia en forma de ondas electromagnéticas (o fotones) como resultado de los cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas. A diferencia de la conducción y la convección, la transferencia de calor por radiación no requiere la presencia de un medio interventor. De hecho, la transferencia de calor por radiación es la más rápida (a la velocidad de la luz) y no sufre atenuación en un vacío.

En los estudios de transferencia de calor es de interés la radiación térmica, que es la forma de radiación emitida por los cuerpos debido a su temperatura. Es diferente de las otras formas de radiación, como los rayos X, los rayos gamma, las microondas, las ondas de radio y de televisión, que no están relacionadas con la temperatura. Todos los cuerpos a una temperatura arriba del cero absoluto emiten radiación térmica.

La radiación es un fenómeno volumétrico y todos los sólidos, líquidos y gases emiten, absorben o transmiten radiación en diversos grados. Sin embargo, la radiación suele considerarse como un fenómeno superficial para los sólidos que son opacos a la radiación térmica, como los metales, la madera y las rocas, ya que las radiaciones emitidas por las regiones interiores de un material de ese tipo nunca pueden llegar a la superficie, y la

radiación incidente sobre esos cuerpos suele absorberse en unas cuantas micras hacia adentro de dichos sólidos.

La razón máxima de la radiación que se puede emitir desde una superficie a una temperatura termodinámica T_s (en K o R) es expresada por la ley de Stefan-Boltzmann como:

$$\dot{Q}_{emitida,max} = \sigma A_s T_s^4 \quad (W)$$

Cabe acotar que la radiación no influye en los cálculos del presente proyecto, puesto que el generador de vapor trabajará dentro de una cámara aislada térmicamente que a su vez se encontrará en una estructura. Así mismo el equipo deberá ubicarse en un cuarto cerrado pero ventilado, evitando así que la radiación solar tenga efectos relevantes sobre los cálculos.

2.8. EBULLICIÓN EN FLUJO

El fenómeno de la ebullición en flujo implica la existencia de dos fenómenos que ocurren simultáneamente: la circulación de una mezcla bifásica de composición no constante y la evaporación de un líquido. La composición no constante se debe a la continua aportación de vapor del líquido que va evaporándose. De manera genérica pueden considerarse dos formas básicas de ebullición, la ebullición nucleada y la pelicular, aunque se consideran cuatro tipos de flujos distintos (figura 2-24).

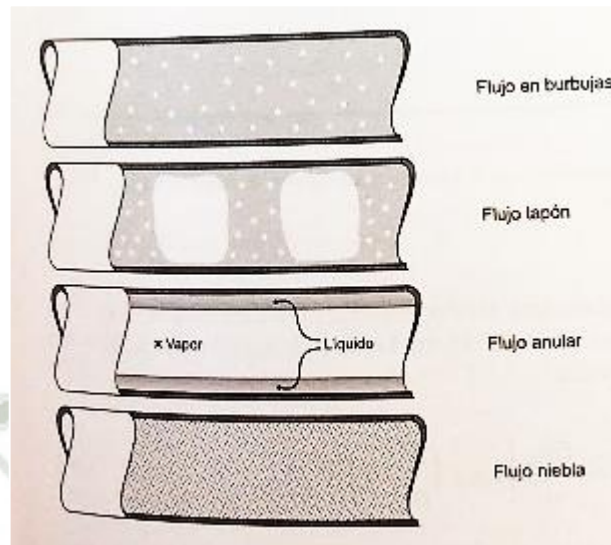


Figura 2-24: Flujos de la ebullición dinámica

Fuente: *Evaporadores*, Miranda A. 1997.

2.8.1. FLUJO EN BURBUJAS

Se da cuando predomina el flujo de la cantidad de movimiento del líquido respecto al del gas. Las burbujas tienden a situarse en la parte superior.

2.8.2. FLUJO TAPÓN

Las burbujas tienen un diámetro parecido al del tubo. Se da cuando predomina el momento del flujo del vapor. Las burbujas tienden a situarse en la parte superior.

2.8.3. FLUJO ANULAR

Requiere velocidades altas de vapor.

2.8.4. FLUJO DE NIEBLA

El líquido ya no moja la pared. El coeficiente de convección-ebullición sufre una fuerte disminución.

En la zona del evaporador correspondiente a baja calidad¹¹, que sería una zona más o menos próxima a la entrada, se produce el régimen de burbujas. A medida que aumenta la calidad se aglomeran las burbujas formando tapones de vapor, sería el régimen tapón de vapor. A continuación se produce el régimen de flujo anular, con una capa delgada de líquido que baña las paredes del conducto. Para una calidad aproximadamente del 25% se produce la transición del régimen anular a niebla y es ahí cuando se produce un descenso del coeficiente de transmisión de calor (figura 2-25). A partir de la zona de transición se estabiliza el régimen de niebla y en la última parte del evaporador se puede tener un flujo monofásico de vapor.

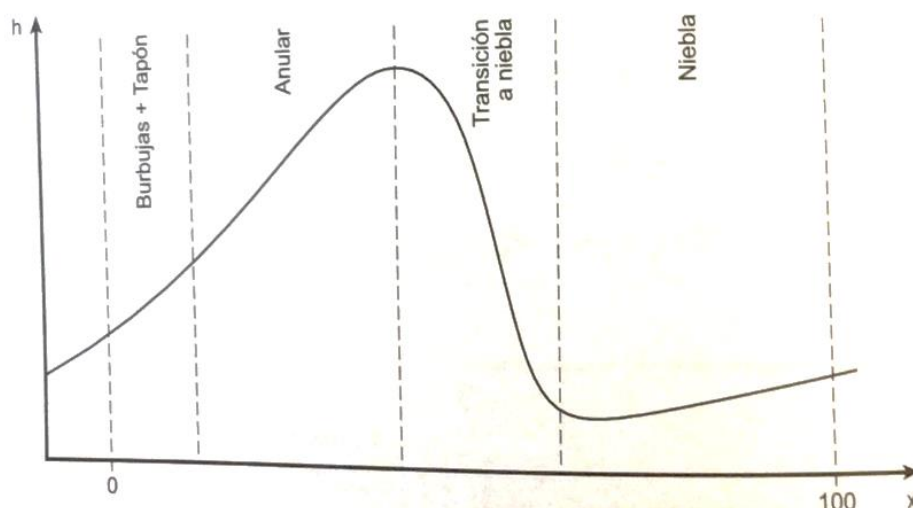


Figura 2-25: Variación del coeficiente de transferencia de calor con la calidad del vapor

Fuente: *Evaporadores*, Miranda A. 1997.

En la actualidad existen diversos métodos para determinar si el régimen es con predominio de forma nucleada o de la forma pelicular [8], como son:

- Método Klimenko
- Método Shah

¹¹ La calidad, es un término que indica la cantidad de vapor en una mezcla de vapor-líquido.

- Método Gungor
- Método Davis
- Método Chen
- Método Chaddock

De los cuales el más reciente y ambicioso es el método Klimenko [8], su aplicación se extiende desde la región de ebullición por nucleación hasta la de evaporación. Tal vez sea el primer modelo que cubre todo el espectro del flujo a dos fases en la determinación del coeficiente de transferencia de calor. Es válido en todas las regiones del flujo a dos fases en donde las paredes del canal están mojadas (esto es, no se ha presentado el secado). Es por esto que se escogió dicho método para el cálculo del coeficiente de transferencia en el presente proyecto, a continuación se define la metodología de cálculo.

2.9. MÉTODO KLIMENKO

El método Klimenko define el tipo de régimen predominante a partir de la función:

$$\phi = \frac{G h_{fg}}{q_i} \left[1 + x \left(\frac{\rho_l}{\rho_v} - 1 \right) \right] \left(\frac{\rho_v}{\rho_l} \right)^{1/3}$$

Donde, G:	Flujo másico de refrigerante [kg/s m ²]
h_{fg} :	Calor latente del fluido [kJ/kg]
q_i :	Flujo interior de calor [kW/m ²]
x:	Calidad del vapor
ρ_l :	Densidad del líquido saturado [kg/m ³]
ρ_v :	Densidad del vapor saturado [kg/m ³]

Si $\phi < 16,000$ predomina la ebullición nucleada. El coeficiente de transmisión depende principalmente del flujo de calor.

Si $\phi > 16,000$ predomina la convección desde la película de líquido a la masa de vapor. El coeficiente de transmisión depende principalmente del título y del flujo másico.

En un estudio del mismo problema presentado dos años más tarde, Klimenko establece una zona de indeterminación entre el flujo nucleado y el pelicular, que más adelante se comentará.

2.9.1. DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE LOCAL

En realidad lo que se necesita en el diseño del evaporador es el coeficiente promedio. Uno de los métodos más aceptados es calcular el coeficiente local de transferencia de calor en $x=0.5$ como valor representativo.

El método Klimenko utiliza dos ecuaciones diferentes según el valor de la función ϕ para determinar el número de Nusselt, Nu ;

Para $\phi < 16000$:

$$Nu = C q_i'^{0.6} p'^{0.5} Pr_l^{-1/3} \left(\frac{k_w}{k_l} \right)^{0.15}$$

Donde, C: Coeficiente que toma distintos valores según el fluido.

q_i' : Número de Peclet modificado

p' : Parámetro adimensional

Pr_l : Número de Prandtl del líquido

k_w : Conductividad de la pared del tubo [W/m K]

k_l : Conductividad del líquido [W/m K]

Los parámetros q_i' y p' , se definen a partir de:

$$q_i' = \frac{q_i L_c}{h_{fg} \rho_v \alpha_l}$$

$$L_c = \left(\frac{\sigma}{g(\rho_l - \rho_v)} \right)^{1/2}$$

$$p' = \frac{P_s L_c}{\sigma}$$

Donde, L_c : Constante de Laplace
 α_l : Difusividad del líquido
 σ : Tensión superficial del líquido [N/m]
 g : Gravedad [m/s²]
 P_s : Presión de saturación [Pa]

Recordar que el subíndice v hace referencia al vapor y l al líquido.

Para $\phi > 16000$:

$$Nu = 0.087 Re'^{0.6} Pr_l^{1/6} \left(\frac{\rho_v}{\rho_l} \right)^{0.2} \left(\frac{k_w}{k_l} \right)^{0.09}$$

Observe que en ambos casos influye la conductividad de la pared metálica del tubo, de forma directa. Por lo tanto es preferible el cobre al acero.

Según la función ϕ se calculará el Nu a partir de las ecuaciones mencionadas anteriormente, sin embargo existe una zona algo indeterminada, en la que no es

$$h_{BF} = \frac{Nu k_l}{L_c}$$

seguro que el régimen sea nucleado o pelicular. Se trata de la franja comprendida entre 12000 y 20000. Si se está dentro de esta franja Klimenko aconseja calcular los dos coeficientes según las dos ecuaciones definidas anteriormente, independientemente de ϕ y elegir el mayor. Si se está fuera de la franja el coeficiente de transmisión de calor local correspondiente a la ebullición y convección del fluido bifásico, h_{BF} , se calculará a partir del Nusselt, a partir de:

Debe calcularse también el coeficiente de convección de la fase líquida a partir de:

$$h_l = 0.019 Re_l^{0.8} Pr_l^{0.4} \frac{k_l}{D_i}$$

Siendo Re_l el número de Reynolds de la fase líquida:

$$Re_l = \frac{G(1-x)D_i}{\mu_l}$$

Klimenko aconseja calcular un valor medio entre el coeficiente h_{BF} y h_l , mediante la siguiente ecuación promedio:

$$h = (h_{BF}^3 + h_l^3)^{1/3}$$

2.9.2. CAIDA DE PRESIÓN INTERNA

La caída de presión total de un intercambiador de calor se describe por la fórmula:

$$\Delta P_{el} = \Delta P_{fr} + \sum \Delta P_{loc} + \overline{\Delta P}_{cab}$$

Donde: ΔP_{fr} : Pérdidas debidas a la fricción [Pa]

$\sum \Delta P_{loc}$: Pérdidas de presión debido a resistencias locales [Pa]

$\overline{\Delta P}_{cab}$: Pérdida de presión total en los cabezales [Pa]

El cálculo de las pérdidas debidas a la fricción y las pérdidas locales de las superficies de intercambio de calor, en las cuales ocurre un cambio de fase, como son los evaporadores, requieren del cálculo de la longitud de sección del evaporador (L_{ev}), la cual se determina con las siguientes ecuaciones:

$$L_{ec} = L_{sc} + L_{cc} \frac{h'_{ls} - h'}{\Delta h_{el}}$$

$$L_{ev} = L_o - L_{ec}$$

Donde:

- L_o : Longitud total del tubo (serpentín) [m]
- L_{sc} : Longitud de sección sin calentar del tubo [m]
- L_{cc} : Longitud de secciones con calentamiento [m]
- h' : Entalpía del nitrógeno a la entrada [kJ/kg]
- h'_{ls} : Entalpía de la fase líquida en línea de saturación [kJ/kg]
- Δh_{el} : Variación de entalpía del fluido [kJ/kg]

2.9.2.1. PÉRDIDAS DEBIDO A LA FRICCIÓN

La caída de presión debido a la fricción que ocurre cuando circula en el interior del serpentín un flujo bifásico y se tiene una longitud variable del tramo con presencia de la mezcla de líquido-vapor se determina con la fórmula:

$$\Delta P_{fr} = \zeta_{fr} \frac{L_{ev}}{d_{int}} \frac{(u\rho)_f^2}{2\rho'_{ls}} \left[1 + \bar{\psi}_{bf} \bar{x} \left(\frac{\rho'_{ls}}{\rho''_{ls}} - 1 \right) \right]$$

Donde:

- ζ_{fr} : Coeficiente de fricción
- $(u\rho)_f$: Velocidad másica del flujo [kg/(m²s)]
- ρ'_{ls} : Densidad del flujo en la línea de saturación [kg/m³]
- ρ''_{ls} : Densidad del vapor seco en la línea de saturación [kg/m³]

x: Contenido medio de vapor en el tramo de evaporación

X se puede calcular con la siguiente fórmula:

$$\bar{x} = \frac{h'' - h'_{ls}}{2r}$$

Donde: h': Entalpia del fluido a la salida del evaporador [kJ/kg]

Ψ_{bf} es un coeficiente que se determina con la siguiente fórmula:

$$\bar{\Psi}_{bf} = \frac{\Psi''_{bf}x'' - \Psi'_{bf}x'}{x'' - x'}$$

Donde: x', x'': Es el contenido de vapor en el fluido a la entrada del tramo y a la salida.

Ψ'_{bf} , Ψ''_{bf} : Magnitudes que se determinan de acuerdo a la figura 2-26.

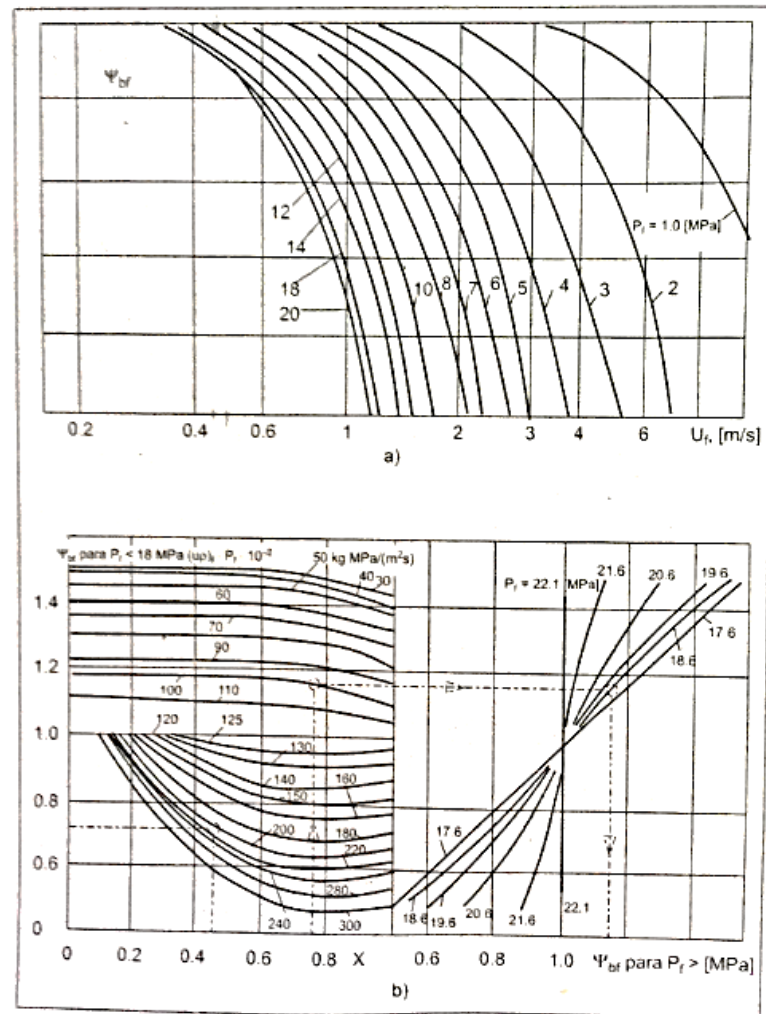


Figura 2-26: Valores del coeficiente Ψ_{bf} .

a- Cuando $x < 0.7$ y $u_{bf} < 10$ m/s

b- Cuando $u_f > 10$ m/s

Fuente: Manual para el cálculo de Intercambiadores de calor y bancos de tubos, Yevgen et al. 2007

2.9.2.2. PÉRDIDAS LOCALES EN LAS TUBERÍAS

Las pérdidas locales en los elementos tubulares por lo general son la suma de las pérdidas de entrada desde los cabezales, así como de las pérdidas locales debidas a los cambios de dirección (codos, tees, etc.)

Las pérdidas locales cuando circula un flujo bifásico en los tubos se determinan por la fórmula:

$$\Delta P_{loc} = \sum \zeta'_{loc} \frac{(u\rho)^2_f}{2\rho'_{ls}} \left[1 + \bar{x} \left(\frac{\rho'_{ls}}{\rho''_{ls}} - 1 \right) \right]$$

Donde: $\sum \zeta'_{loc}$: Suma de los coeficientes relativos de pérdidas locales.

$$\sum \zeta'_{loc} = \zeta'_{ent} + \zeta'_{sal} + \zeta'_{cd}$$

Donde: ζ'_{ent} : Coeficiente relativo de pérdidas de entrada
 ζ'_{sal} : Coeficiente relativo de pérdidas de salida
 ζ'_{cd} : Coeficiente relativo de pérdidas por cambios de dirección, ver tabla 2-7.

Tabla 2-7: Coeficientes de pérdidas por los cambios de dirección (codos) ζ_{cd}

Ángulo de giro α	Radio relativo del codo $\frac{R}{d_{ext}}$					
	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	5.0
60°	0.32	0.25	0.21	0.18	0.16	0.15
90°	0.41	0.34	0.3	0.24	0.22	0.2
120°	0.5	0.4	0.34	0.27	0.24	0.22
180°	0.6	0.48	0.4	0.32	0.28	0.26

Fuente: Manual para el cálculo de Intercambiadores de calor y bancos de tubos, Yevgen et al. 2007

2.10. ANÁLISIS DE INTERCAMBIADORES DE CALOR

Las distintas aplicaciones de la transferencia de calor requieren diferentes tipos de componentes y configuraciones del equipo para dicha transferencia. El intento de acoplar

los accesorios para la transferencia de calor a cada tipo de necesidades, ha conducido a numerosos tipos de diseños innovadores de intercambiadores de calor.

El intercambiador seleccionado para el presente proyecto es el de flujo cruzado, en este tipo de intercambiador los dos flujos se mueven perpendicularmente sin mezclarse, como se muestra en la figura 2-27:

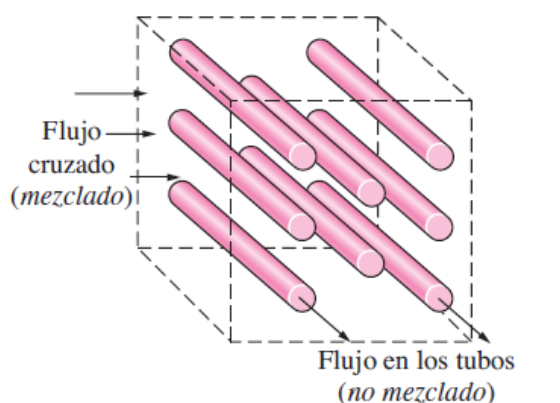


Figura 2-27: Esquema de intercambiador de calor de flujo cruzado

Fuente: Transferencia de calor y masa, Cengel y Ghajar, 4ed.

2.10.1. COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR

Por lo común un intercambiador de calor está relacionado con dos fluidos que fluyen separados por una pared sólida. En primer lugar, el calor se transfiere del fluido caliente hacia la pared por convección, después a través de la pared por conducción y, por último, de la pared hacia el fluido exterior por convección.

La red de resistencias térmicas asociada con este proceso de transferencia de calor comprende dos resistencias por convección y una por conducción, como se muestra en la figura 2-28.

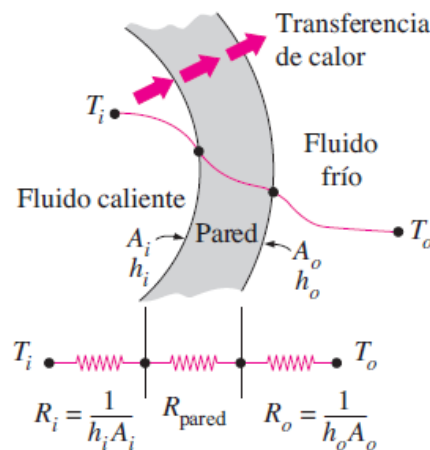


Figura 2-28: Red de resistencias térmicas asociadas con la transferencia de calor en un intercambiador común

Fuente: *Transferencia de calor y masa, Cengel y Ghajar, 4ed.*

En este caso, los subíndices i y o representan las superficies interior y exterior del tubo interior. Para nuestro caso la resistencia térmica de la pared del tubo es:

$$R_{pared} = \frac{\ln(D_o/D_i)}{2\pi kL}$$

Donde k es la conductividad térmica del material y L es la longitud del tubo. Entonces la resistencia térmica total del tubo queda:

$$R_{total} = R_i + R_{pared} + R_o = \frac{1}{h_i A_i} + \frac{\ln(D_o/D_i)}{2\pi kL} + \frac{1}{h_o A_o}$$

En el análisis de intercambiadores de calor resulta conveniente combinar todas las resistencias térmicas que se encuentran en la trayectoria del flujo de calor, en una sola resistencia R y expresar la razón de transferencia de calor como:

$$\dot{Q} = \frac{\Delta T}{R} = U A_s \Delta T = U_i A_i \Delta T = U_o A_o \Delta T$$

Donde U es el coeficiente total de transferencia de calor, cuya unidad es W/m^2K .
Cancelando ΔT , la ecuación anterior se convierte en:

$$\frac{1}{UA_s} = \frac{1}{U_i A_i} = \frac{1}{U_o A_o} = R = \frac{1}{h_i A_i} + R_{pared} + \frac{1}{h_o A_o}$$

2.10.2. FACTOR DE INCRUSTACIÓN

El rendimiento de los intercambiadores de calor suele deteriorarse con el paso del tiempo como resultado de la acumulación de depósito sobre las superficies de transferencia de calor. La capa de depósitos representa una resistencia adicional para esta transferencia de calor. El efecto neto de estas incrustaciones se representa por un *factor de incrustación* R_f .

Para un intercambiador de calor de tubos, la relación de transferencia de calor, se puede expresar como:

$$\frac{1}{UA_s} = \frac{1}{U_i A_i} = \frac{1}{U_o A_o} = R = \frac{1}{h_i A_i} + \frac{R_{f,i}}{A_i} + R_{pared} + \frac{R_{f,o}}{A_o} + \frac{1}{h_o A_o}$$

Donde $R_{f,i}$ y $R_{f,o}$ son los factores de incrustación, en la tabla 2-8 se muestran factores representativos.

Tabla 2-8: Factores de incrustación representativos

Fluido	$R_f, m^2 \cdot ^\circ C/W$
Agua destilada, agua de mar, agua de río, agua de alimentación para calderas:	
Por debajo de $50^\circ C$	0.0001
Arriba de $50^\circ C$	0.0002
Combustóleo	0.0009
Vapor de agua (libre de aceite)	0.0001
Refrigerantes (líquido)	0.0002
Refrigerantes (vapor)	0.0004
Vapores de alcohol	0.0001
Aire	0.0004

Fuente: *Transferencia de calor y masa, Cengel y Ghajar, 4ed.*

2.10.3. ANÁLISIS DE LOS INTERCAMBIADORES DE CALOR

En la práctica, los intercambiadores de calor son de uso común y un ingeniero se encuentra a menudo en la posición de seleccionar un intercambiador de calor, que logre un cambio de temperatura específica de una corriente de fluido de gasto de masa conocido, o bien, de predecir las temperaturas de salida de las corrientes de fluido caliente y del frío en un intercambiador de calor específico. En las secciones siguientes del presente proyecto, se discutirá el método de la *diferencia media logarítmica de temperatura* (o LMTD), que es el más apropiado para la primera tarea.

Hay que tener en cuenta que el intercambiado de calor a estudiar es un evaporador por lo que es conveniente definir el calor necesario para evaporar el líquido. La razón de transferencia de calor para un líquido que se desea evaporar es:

$$\dot{Q}_{\text{evap}} = \dot{m} h_{fg}$$

Donde $\dot{m}$ es la rapidez de la evaporación y h_{fg} es la entalpía de vaporización a la temperatura o presión especificada.

2.10.3.1. MÉTODO DE LA DIFERENCIA MEDIA LOGARÍTMICA DE TEMPERATURA

La diferencia media logarítmica de temperatura es la forma apropiada de la diferencia de temperatura promedio que debe usarse en el análisis de los intercambiadores de calor. La forma de calcularla se muestra en la siguiente ecuación:

$$\Delta T_{ml} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \right)}$$

Donde ΔT_1 y ΔT_2 representa la diferencia de temperaturas entre los dos fluidos en ambos extremos (de entrada y salida del intercambiador).

La relación mostrada se limita para intercambiadores de calor a contraflujo, por lo que para intercambiadores de calor de flujo cruzado, para el presente proyecto, necesitan un factor de corrección,

$$\Delta T_{ml} = F \Delta T_{ml,CF}$$

Donde F es el factor de corrección, el cual depende de la configuración geométrica del intercambiador y de las temperaturas de entrada y salida de las corrientes de ambos flujos.

Para un intercambiador de calor de flujo cruzado el factor de corrección es menor que la unidad, es decir $F < 1$. En la figura 2-29 se da el factor de corrección para un intercambiador de flujo cruzado en función de las razones P y R , definidas como:

$$P = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1}$$

$$R = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1}$$

En donde los subíndices 1 y 2 se refieren a la entrada y salida, respectivamente.

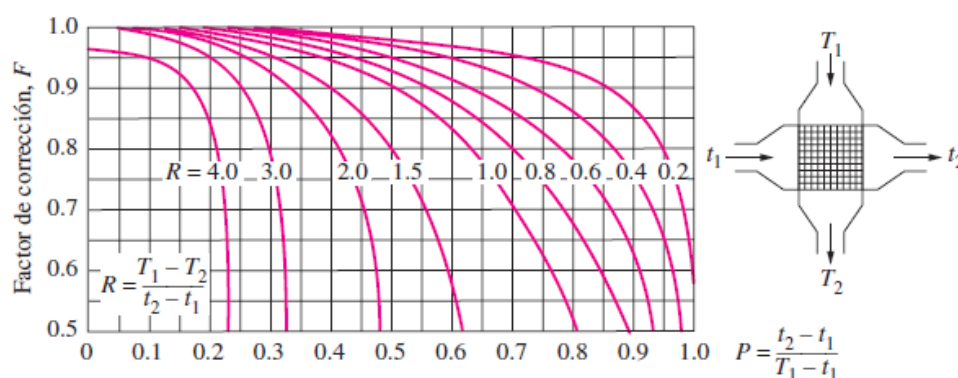


Figura 2-29: Factor de corrección F para flujo cruzado no mezclado

Fuente: *Transferencia de calor y masa, Cengel y Ghajar, 4ed.*

2.11. TERMORREGULACIÓN HUMANA

La termorregulación humana depende de cuatro procesos: la transferencia de calor física entre el cuerpo y el ambiente, la transferencia de calor dentro del cuerpo, los mecanismos fisiológicos que usa el cuerpo bajo la influencia intercambios de calor y los sistemas reguladores que controlan esos mecanismos. A continuación se describirá el proceso que influye en la presente tesis, es decir la transferencia de calor entre el cuerpo y el medio externo.

2.11.1. TRANSFERENCIA DE CALOR ENTRE EL CUERPO HUMANO Y EL AMBIENTE

Lo definido a continuación está restringido a casos de cuerpo desnudo, pues los efectos de aislamiento de la ropa se estudian a menudo por separado, y debido a que el usuario que entre a la cámara lo debe hacer con ropa de baño ligera, no se consideran problemas con las siguientes definiciones.

El mecanismo de transferencia de calor entre el cuerpo humano y el ambiente son bien conocidos¹². Dicha transferencia se da por convección ($\dot{Q}_{\text{conv}}$), conducción ($\dot{Q}_{\text{cond}}$), radiación ($\dot{Q}_{\text{rad}}$) y evaporación ($\dot{Q}_{\text{eva}}$). El cuerpo humano produce calor metabólico, el cual es igual al ratio metabólico ($\dot{Q}_{\text{met}}$), menos la resta de cualquier trabajo mecánico externo que se realice ($\dot{W}$). Si la producción de calor metabólico es insuficiente para mantener la temperatura del centro del cuerpo a la temperatura deseada (aproximadamente 37°C), o muy grande para ser disipada al medio ambiente, habrá una energía neta almacenada ($\dot{E}_{\text{alm}}$). Entonces, la ecuación de balance de energía puede ser expresada de la siguiente manera:

$$\dot{E}_{\text{alm}} = \dot{Q}_{\text{met}} - \dot{W} - \dot{Q}_{\text{cov}} - \dot{Q}_{\text{cond}} - \dot{Q}_{\text{rad}} - \dot{Q}_{\text{eva}}$$

¹² Los siguientes autores han estudiado y definido dichos mecanismos: Burton y Edholm (1955); Monteith (1990); Winslow y Harrington (1980)

Los intercambios de calor convectivos y evaporativos se componen de transferencias en la piel e intercambios debido a la respiración. Donde se ha acostumbrado dividir los intercambios de calor evaporativos en aquellos debido a la piel ($\dot{Q}_{\text{evap,piel}}$) y a la respiración ($\dot{Q}_{\text{evap,res}}$), la transferencia de calor convectiva debida a la respiración es usualmente ignorada debido a que es despreciable comparada a la transferencia de calor convectiva desde la piel.

Debido a que la producción y transferencia de calor varía con el tamaño de cada individuo, es conveniente expresarlas en relación a una unidad de área (p.e. W/m^2 en vez de W). El área superficial (A_s) puede ser estimada usando fórmulas como la de DuBois y DuBois¹³ (1916) o Jones et al. (1985).

A continuación se define la fórmula de DuBois y DuBois para el área superficial del ser humano:

$$A_s = (W^{0.425} \cdot H^{0.725}) \cdot 0.007184$$

Donde: W: Peso del individuo [kg]
 H: Estatura del individuo [cm]

2.11.1.1. TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCIÓN

Transferencia de calor por convección entre la superficie de la piel y el aire puede ser descrito por la siguiente ecuación:

$$\dot{Q}_{\text{conv}} = h_c(T_{\text{piel}} - T_a) \quad [\text{W/m}^2]$$

¹³ DuBois D, DuBois EF. A formula to estimate the approximate surface area if height and weight be known. Arch Intern Medicine. 1916; 17: 863-71.

Donde: h_c : Coeficiente de transferencia de calor convectivo [$W/m^2 K$]

T_{piel} : Temperatura media de la piel [K]

T_a : Temperatura del ambiente [K]

La determinación teórica del coeficiente de transferencia de calor convectivo (h_c) para un objeto en un fluido es compleja y depende de la forma del objeto, y de las propiedades físicas del fluido (Kerslake, 1972).

Un número de relaciones experimentales de h_c se han creado para condiciones de convección forzada en aire¹⁴ en un rango de velocidades y actividad del cuerpo (e. g. Colin y Houdas, 1967; Mitchell et al., 1969; y Nishi y Gagge, 1970a). Los descubrimientos de los experimentos se expresaron como ecuaciones que son el producto de la velocidad del aire elevado a una constante. La fórmula de Nishi y Gagge (1970a) es representativa:

$$h_c = 8.6 \cdot V^{0.53} \quad [W/m^2 K]$$

Donde: V : Velocidad del aire [m/s]

A pesar que h_c puede ser calculado si la velocidad del aire es conocida. Hay también ecuaciones empíricas que lo determinan en función a la actividad del sujeto, por ejemplo Gagge et al. (1976):

$$h_c = 5.66 \cdot \left(\frac{\dot{Q}_{met}}{58.2} - 0.85 \right)^{0.39} \quad [W/m^2 K]$$

¹⁴ Debido a que no existen ecuaciones empíricas para hallar h_c en entornos de N_2 vaporizado, en esta tesis se trabajarán con las ecuaciones para aire.

La dificultad de la relación anterior es definir correctamente el índice metabólico según la actividad, por lo que existen relaciones con actividades definidas y se muestran en la tabla 2-9:

Tabla 2-9: Coeficientes de transferencia de calor por convección para un cuerpo con ropa, a 1 atm (V en m/s) (Compilado de varias fuentes)

Actividad	h_{conv}^* $W/m^2 \cdot ^\circ C$
Sentado en aire en movimiento a	
$0 < V < 0.2$ m/s	3.1
$0.2 < V < 4$ m/s	$8.3V^{0.6}$
Caminando en aire tranquilo a	
$0.5 < V < 2$ m/s	$8.6V^{0.53}$
Caminando sobre una caminadora en aire tranquilo a	
$0.5 < V < 2$ m/s	$6.5V^{0.39}$
De pie en aire en movimiento a	
$0 < V < 0.15$ m/s	4.0
$0.15 < V < 1.5$ m/s	$14.8V^{0.69}$

*A presiones diferentes de 1 atm, multiplíquese por $P^{0.55}$, en donde P se da en atm.

Fuente: Transferencia de calor y masa, Cengel y Ghajar, 4ed.

2.11.1.2. TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN

La transferencia de calor por conducción de o hacia el cuerpo humano es usualmente considerada despreciable, ya que para la mayoría de actividades del humano, el cuerpo esta principalmente con contacto con aire o muebles suaves, los que tienen una alta resistencia a la transferencia de calor conductiva. Así mismo para la presente tesis no será necesario la definición de su fórmula.

2.11.1.3. TRANSFERENCIA DE CALOR POR RADIACIÓN

La transferencia de calor por radiación entre la piel y el ambiente está relacionada a la diferencia entre la cuarta potencia de las temperaturas absolutas de las superficies radiantes:

$$\dot{Q}_{rad} = \sigma \varepsilon \left(\frac{A_r}{A_s} \right) (T_{piel}^4 - T_r^4) \quad [W/m^2]$$

Donde: σ : Constante de Stefan Boltzman [$W/m^2 K^4$]

ε : Emisividad de la piel (0.97)

A_r/A_s : Fracción de la superficie de piel involucrada en el intercambio de calor por radiación.

T_r : Temperatura de radiación media [K]

Sin embargo, donde las diferencias entre las temperaturas de las superficies radiantes es pequeña (menos que 20 °C), la relación puede ser expresada por:

$$\dot{Q}_{rad} = h_r (T_{piel} - T_r) \quad [W/m^2]$$

Donde: h_r : Coeficiente de transferencia de calor lineal por radiación [$W/m^2 K$]

El coeficiente de transferencia de calor lineal por radiación h_r es definido (Gagge y Nishi, 1977) como:

$$h_r = 4\sigma \left(\frac{A_r}{A_b} \right) (T_{av})^3$$

Donde: T_{av} : $(T_{sup} + T_r)/2$ [K]

T_{sup} : Temperatura media superficial ($T_{sup} = T_{piel}$ cuando se está desnudo)

Entonces, h_r puede ser calculado si el factor de área y la temperatura media superficial son conocidos. Fanger (1970) reporta valores de 0.70 sentado y 0.73 parado para A_r/A_s , por experiencia usando métodos ópticos.

2.11.1.4. TRANSFERENCIA DE CALOR POR EVAPORACIÓN

La transferencia de calor por evaporación involucra transferencia de masa. La gradiente en la concentración de moléculas de agua es el potencial que maneja este proceso. Aunque, cuando la diferencia de temperatura entre la superficie de evaporación y el aire ambiental es pequeña, el flujo de calor por evaporación puede expresarse en términos de la gradiente de presión de vapor. Por lo tanto, la transferencia de calor por evaporación desde la piel es usualmente expresada por fisiólogos de la siguiente forma:

$$\dot{Q}_{eva,piel} = w h_e (P_{piel} - P_a)$$

Donde: w : Humedad de la piel

h_e : Coeficiente de transferencia de calor por evaporación
[W/m² kPa]

P_{piel} : Presión parcial media del vapor de agua en la piel [kPa]

P_a : Presión parcial del vapor de agua en el ambiente [kPa]

En este punto es importante señalar cuando se da la transferencia de calor por evaporación, hay dos formas representativas:

- La primera forma de transferencia de calor por evaporación se da cuando se presenta evaporación de la humedad en la piel o pulmones, absorbiendo calor del cuerpo.
- La segunda forma se da cuando la humedad del aire se condensa en superficies frías del cuerpo, liberando calor del cuerpo.

Entonces, sabiendo que la transferencia de calor por evaporación se da siempre y cuando exista humedad en el ambiente, esta se puede despreciar para efectos de cálculos de la presente tesis, puesto que en la cámara donde se ubicará el usuario solo ingresará nitrógeno y aire seco.

2.11.1.5. TRANSFERENCIA DE CALOR POR RESPIRACIÓN

Las formas de transferencias de calor por respiración han sido consideradas por Flanger (1967 y 1970), quien propuso ecuaciones para predecir los intercambios de calor por respiración debidas a la convección y evaporación.

$$\dot{Q}_{eva,res} = 0.0014 \dot{Q}_{met} (34 - T_a)$$

$$\dot{Q}_{conv,res} = 0.0173 \dot{Q}_{met} (5.87 - P_a)$$

Pero como se dijo en el ítem anterior la evaporación no será considerada en la presente tesis. Y debido a que la cabeza del usuario de la cámara criogénica se ubicará fuera de la cámara todo el tiempo, la transferencia de calor por convección debida a la respiración no será considerada.

CAPÍTULO III

PARÁMETROS DE DISEÑO

Se procede con el método generalizado de procedimiento en el proceso de diseño de una máquina VDI ¹⁵ 2221.

3.1.DETALLAR EL PROBLEMA

Diseñar una cámara criogénica que incluya un sistema de generación de vapor de nitrógeno líquido a partir de un tanque de nitrógeno líquido.

3.1.1. ASUMIENDO EL PROBLEMA EN FORMA CRÍTICA

El proyecto plantea problemas de investigación de la tecnología actual de las cámaras criogénicas o también llamadas criosaunas, los sistemas de control con los que cuentan, los sistemas de seguridad, los accesorios, la tecnología de generación de vapor de N₂, etc.

¹⁵ VDI: Verein Deutscher Ingenieure (Asociación Alemana de Ingenieros)

Se prevé que dentro del funcionamiento de la cámara criogénica se produzcan fallas en el proceso por:

- a) Corte de energía.- De suceder esto el ventilador y el sistema de control dejarán de funcionar, teniendo que parar inmediatamente la sesión.
- b) Descarga completa del tanque presurizado.- Si no se calcula bien la cantidad restante de LN_2 en un tanque y este se vacía durante una sesión, se recomienda tener un tanque lleno cerca para poder continuar el tratamiento.

3.1.2. ESTADO DE LA TECNOLOGÍA

En el mercado existen diferentes modelos de cámaras criogénicas en países como Rusia, Italia, Rumania y EEUU, estos son países donde la investigación en temas deportivos tiene un alto nivel y es por eso que requieren de cámaras de última generación para poder realizar sus estudios.

Se sabe que algunos componentes, para la fabricación de una cámara criogénica, no son fáciles de conseguir en nuestro medio, ya que es una tecnología poco difundida, pero a pesar de esto, existen empresas que distribuyen nitrógeno líquido y que proveen tanques de nitrógeno líquido (componente más costoso del proyecto) a cambio de una garantía, es por eso que el diseño buscará emplear componentes presentes en el mercado nacional para abaratar costos.

Luego de la investigación del mercado, se concluye que la tecnología con que contará el diseño de la cámara criogénica abarcará un conjunto de elementos:

- a) Mecánicos (Estructura mecánica, ventiladores, manguera criogénica, IC.¹⁶).
- b) Mecánico eléctricos (Válvula solenoide, contactor de puesta en marcha).
- c) Electrónico (Sensor de temperatura).

¹⁶ IC: Intercambiador de Calor.

3.1.3. ANALIZANDO LA SITUACIÓN DEL PROBLEMA

El principal problema comprende la seguridad del usuario, pues como se vio en las propiedades del nitrógeno a presión ambiental, este es un gas que desplaza al oxígeno produciendo asfixia a quien se someta directamente a él. Es por dicho tema de seguridad, que la máquina debe suministrar nitrógeno más aire hacia la cámara, y como medida extra, el paciente deberá tener la cabeza fuera de la cámara mientras dure la sesión, de manera que solo pueda respirar aire fresco, ya que el nitrógeno que ingresará a la cámara será más pesado que el aire, evitando que este se desplace hacia arriba.

El segundo problema es controlar un flujo de vapor que permita descender a la temperatura requerida dentro de la cámara, manteniendo el consumo de nitrógeno líquido al mínimo, pues como se verá en el análisis de costos, cada sesión no será barata, por el precio del nitrógeno líquido. Por lo cual se debe tener un diseño óptimo de control.

3.1.4. COMPROBAR LA POSIBILIDAD DE REALIZACIÓN

Este proyecto enmarca diferentes aspectos, como el deportivo, medicinal, económico y tecnológico:

Aspecto deportivo. Se conocen los grandes beneficios en los deportistas calificados que usan la crioterapia de cuerpo entero, es por eso que este proyecto pretende sentar bases para que esta tecnología se difunda y pueda ser aprovechada por deportistas en nuestro país.

Aspecto medicinal. Se tiene conocimiento por investigaciones realizadas por universidades, centros terapéuticos, centros de rehabilitación, hospitales, etc. que la crioterapia de cuerpo entero tiene gran cantidad de beneficios medicinales. Además en nuestro medio existen profesionales en fisioterapia, y médicos traumatólogos a los cuales se les consultará sobre el proyecto.

Aspecto económico. El costo a proyectarse de la máquina no es algo fijo, pero se tiene un costo aproximado de US\$ 5000 (Cinco mil dólares americanos), el cual

podría ser financiado por el cliente (clínicas de rehabilitación para deportistas, clubes de fútbol, etc.)

Aspecto tecnológico. El nivel tecnológico previsto para realizar el presente proyecto está limitado al mercado de nuestro país, se hará el mejor esfuerzo de diseñar un equipo que sea automático y no genere problemas en el tiempo.

3.1.5. COMPLETAR LAS EXIGENCIAS

- Proyecto: Diseño de cámara criogénica para deportistas.
- Dimensiones máximas de la máquina: Largo: 1700mm, ancho: 1300mm., alto: 2000mm.
- Diámetro máximo de cámara cilíndrica para usuario: 800mm de diámetro interior.
- La temperatura interior de la cámara debe descender por lo menos a -100°C .
- El contenido de oxígeno en el aire a la altura de la cabeza del usuario no debe ser diferente del resto del cuarto.
- La altura de la base de la cámara deberá regularse, de forma que la cabeza del usuario permanezca por sobre la cámara, esto para que pueda respirar aire fresco.
- El flujo se controlará en el lado de nitrógeno líquido, mediante una válvula solenoide.
- Por ningún motivo podrá ingresar nitrógeno líquido al interior de la cámara.
- El aire que se mezcle con el nitrógeno antes de ingresar a la cámara deberá estar lo más seco posible.
- Los motores de los ventiladores no deben tener una potencia mayor a 1hp cada uno.
- Deberá colocarse iluminación en la cámara.
- El máximo tiempo por sesión será de 3 minutos, siendo este tiempo, controlado por un temporizador.
- Tensión de trabajo: 220v (uso doméstico – monofásico).
- Frecuencia: 60Hz.
- Peso por paciente máximo: 100kg.

- Indicadores luminosos y pulsadores para el inicio y fin de la sesión.
- Revestimiento del interior de la cámara, de material que soporte bajas temperaturas, que tenga buen índice de aislamiento y que sea cómodo al contacto.
- El evaporador deberá contar con un sistema de drenaje.
- Protección para equipos eléctricos según estándar ANSI/IEC 60529-2004 (en el grado de protección IP en equipos eléctricos).
- La cámara contará con un sistema de recirculación de gases para aprovechar al máximo el nitrógeno.
- La máquina contará con un sistema de extracción de gases, para evacuar el nitrógeno que queda remanente luego de una sesión.
- El sistema de extracción de gases deberá contar con un ducto que tenga salida a un medio exterior.
- Facilidad para ensamblar la máquina.
- Diseño para que un solo operario/especialista pueda controlar cada sesión.
- El material estructural deberá tener rigidez, y resistencia a la corrosión.
- Botón STOP para accionar parada de emergencia.
- El plazo de entrega de la máquina será de 3 a 4 meses.

3.1.6. DETALLAR COMPLETAMENTE LISTA DE EXIGENCIAS

El equipo que se necesita diseñar debe realizar básicamente las funciones que a continuación se van a dividir en sistemas con el fin de determinar las exigencias (o deseos) que debe cumplir el equipo.

La lista de exigencias se detalla a continuación:

Tabla 3-1: Lista de Exigencias del Proyecto

LISTA DE EXIGENCIAS			EDICIÓN: 1ra	Pág. 1 - 5
DISEÑO DE UNA CÁMARA CRIOGÉNICA PARA DEPORTISTAS Cliente: UCSM			N° de identificación:	N/A
			Redactado por:	-Márquez Manrique Fernando Mateo
			Fecha:	24-03-2015
Cambios	D o E	Exigencias	Responsable	
1. Geometría				
	D	Las medidas de la máquina serán: 200cm de alto x 170cm de largo x 130cm de ancho	F. Márquez	
	D	El interior de la cámara tendrá forma cilíndrica de 80cm de diámetro	F. Márquez	
	D	La ubicación del panel de control será a 170cm desde el piso	F. Márquez	
	E	La forma de la cámara del usuario será cilíndrica	F. Márquez	
2. Cinemática				
	E	Los ventiladores tendrán velocidades fijas	F. Márquez	
3. Fuerzas				
	E	El peso máximo del equipo será de 120kg	F. Márquez	
	E	El peso del tanque vacío será como máximo 130 kg y del tanque lleno 260kg	F. Márquez	

	E	El ventilador se fijara rígidamente a la estructura	F. Márquez
4. Energía			
	E	El motor del ventilador será: Monofásico(220v,60hz) tipo jaula de ardilla, potencia: 0.15kW Peso :5kg Medirá: 25cm de largo Velocidad nominal de 2770rpm	F. Márquez
	E	La conexión del motor a la red: 220v monofásicos Frecuencia de 60hz	F. Márquez
	E	La presión de trabajo no excederá 2 atm.	F. Márquez
	D	El flujo de nitrógeno líquido no será mayor a 1kg/min	F. Márquez
	D	El flujo de nitrógeno deberá ser intermitente por cuestiones económicas	F. Márquez
	D	Se usará resistencias eléctricas para secar el condensado congelado en las aletas y serpentín	F. Márquez
5. Señales y materiales			
	D	El exterior y armazón de la cámara serán fabricados de acero galvanizado.	F. Márquez
	D	El panel de control servirá para prender el sistema de suministro de vapor, prender el ventilador, regular el flujo de vapor	F. Márquez
	E	La máquina contará con señales de peligro, por asfixia	F. Márquez
	E	La máquina solo podrá ser controlada por alguien entrenado	F. Márquez

	E	El evaporador deberá contar con una tubería que permita que la humedad condensada drene	F. Márquez
6. Seguridad			
	E	Para el cableado se utilizara un grado de protección IP66 (protegido contra polvo y chorros grandes de agua)	F. Márquez
	D	El equipo deberá tener los permisos médicos correspondientes	F. Márquez
	E	Se podrá parar el procedimiento en cualquier momento con un botón de stop	F. Márquez
	E	Al final del procedimiento de extraerán los gases de la cámara con ayuda de un ventilador y un ducto hacia el exterior	F. Márquez
	E	El usuario deberá usar pantuflas y guantes durante la sesión	F. Márquez
	E	El usuario deberá usar ropa de baño durante la sesión	F. Márquez
	E	El traslado del tanque vacío deberá estar detallado en un procedimiento escrito	F. Márquez
7. Ergonomía			
	E	La cámara será tapizada en cuero para la comodidad del usuario	F. Márquez
	E	La puerta no tendrá seguro, de modo que el usuario podrá salir de la cámara cuando lo desee	F. Márquez
	D	Se añadirán cojines, de modo que personas de menor estatura siempre tengan la cabeza fuera de la cámara, y puedan respirar aire fresco.	F. Márquez
	D	Los rangos de estaturas serán:	F. Márquez

		-180cm-185cm (Por defecto) -175cm-180cm (1 cojines) -170cm-175cm (2 cojines) -165cm-170cm (3 cojines) -160cm-165cm (4 cojines)	
9.Fabricación			
	E	La fabricación del equipo se realizará en taller, que cumpla con los recursos necesarios (Tornos, Cortadoras, Máquinas de soldar, Plegadora, Herramientas en general)	F. Márquez
	D	Los componentes serán comerciales	F. Márquez
10.Control			
	E	El sistema de control deberá controlar el ventilador, la válvula solenoide, la luz, el termómetro, y el sistema de disipación de gases	F. Márquez
11.Montaje			
	E	Se dividirá la cámara en 2 segmentos principales para su fácil transporte	F. Márquez
12.Transporte			
	E	Se utilizará una furgoneta mediana o un camión pequeño para transportar los 2 segmentos	F. Márquez
13.Uso			
	E	El usuario podrá utilizar la cámara por un máximo de 3 minutos	F. Márquez
	D	El ruido de la cámara deberá ser mínimo, para evitar molestias	F. Márquez
	E	No se podrá usar el equipo en lugares soleados, siempre deberá trabajar en	F. Márquez

		sombra para evitar la evaporación del nitrógeno	
14. Mantenimiento			F. Márquez
	E	El mantenimiento deberá ser lo más simple posible	F. Márquez
	E	La limpieza e inspección de la máquina se realizarán al final de cada día	F. Márquez
15. Costos			
	E	El costo de fabricación deberá ser optimizado para poder entrar al mercado del deporte fácilmente	F. Márquez
	D	El costo de recarga de nitrógeno es fijo, y depende de los proveedores, por lo que cada sesión deberá tener en cuenta la cantidad de nitrógeno usado	F. Márquez
16. Plazos			
	D	El plazo de fabricación será de 6 meses	F. Márquez

Fuente: Elaboración Propia.

3.2. ELABORACIÓN DEL CONCEPTO

3.2.1. DETERMINAR LA ESTRUCTURA DE FUNCIONES

- A. Proceso de descarga de LN_2 hacia el evaporador.
- B. Proceso de evaporación del LN_2 .
- C. Proceso de mezcla y suministro de aire seco más nitrógeno evaporado
- D. Proceso de extracción de vapores remanentes.

3.2.2. DEFINICIÓN BÁSICA DE FUNCIONES DE LA MÁQUINA

Esta máquina, se diseña para enfriar la piel del usuario con ayuda de nitrógeno vaporizado, el enfriamiento será por contacto directo del vapor con la piel del usuario.

La máquina está en la capacidad de hacer una serie de sesiones antes que se tenga que recargar el tanque y/o secar el intercambiador de calor¹⁷.

Los datos físicos del nitrógeno suministrado por el proveedor son:

- Peso molecular: 28g/mol
- Punto de fusión: -210 °C
- Punto de ebullición: -196 °C
- Temperatura crítica: -147 °C
- Temperatura de auto ignición: No aplica.
- Rango de inflamabilidad: No aplica.
- Densidad relativa, gas: 0.97
- Densidad relativa, líquido: 0.8
- Solubilidad: Agua 20mg/l
- Otros datos: gas/vapor más pesado que el aire, se puede acumular en espacios confinados.

En Arequipa hay dos empresas grandes que suministran nitrógeno líquido, para el presente proyecto se estuvo en contacto con Linde Gas¹⁸, una reconocida empresa proveedora de gases para la industria arequipeña.

El proceso de suministro de vapor de nitrógeno a la cámara es:

Conectar el tanque presurizado, a la presión calculada, a la manguera criogénica. El nitrógeno líquido avanzará hacia la máquina por efecto de la presión, hasta llegar a la válvula solenoide, la cual controlará el suministro de LN₂ hacia el evaporador, la

¹⁷ Se debe secar el intercambiador debido a que experiencias pasadas demostraron que la humedad del aire tiende a congelarse en el exterior del IC, disminuyendo su eficiencia.

¹⁸ Para más información visitar: <http://www.linde-gas.com.pe/> (Linde Gas – Perú)

válvula solenoide (Normalmente cerrada) permitirá que el suministro de LN_2 sea controlado.

Luego de pasar por la válvula solenoide y la válvula de seguridad, el LN_2 ingresará al intercambiador de calor, donde se evaporará completamente, utilizando como sistema de convección forzada, aire a cierta velocidad que circulará por el exterior del evaporador, este aire deberá ser deshumidificado durante su paso por el evaporador, la razón por la que el aire debe ser deshumidificado es que este aire se mezclará posteriormente en una cámara con el nitrógeno e ingresará a la cámara donde partículas de humedad congeladas podrían lesionar la piel del usuario.

La cámara de mezclado de aire y nitrógeno evaporado estará junto a la cámara del usuario y contará con una rejilla para que la mezcla ingrese separada.

Una vez que el tiempo (3 minutos) termina, la cámara aun tendrá vapor remanente, por lo que el sistema de extracción deberá encenderse automáticamente para trasladar dichos vapores hacia un ambiente distinto o si es posible al exterior.

Además, transcurridos los 3 minutos que durará una sesión, la válvula solenoide deberá cerrarse y no permitir que ingrese nitrógeno al sistema hasta que se inicie una nueva sesión.

El diseño planteado se delimita en controlar automáticamente el suministro de LN_2 , los ventiladores, etc.

La seguridad es un factor importante, por lo que se presentará un diseño que evite la asfixia, manteniendo la cabeza del usuario fuera del alcance de los vapores. Así mismo se presentarán las recomendaciones necesarias para que el operario de la cámara sepa el modo correcto de operar la cámara.

Las herramientas software para este diseño son:

- Autodesk Inventor, software de modelamiento de piezas en 3D.
- Autodesk Simulation Mechanical, software para el análisis estructural.
- Autodesk Simulation CFD, software de análisis de fluidos.

- Microsoft Excel, software para hojas de cálculo.
- AISLAM, software para diseño de aislamiento térmico.

3.2.3. FIJAR LOS PROCESOS TÉCNICOS

Para cumplir con cada función principal se plantean una secuencia ordenada de procesos técnicos parciales; con esto se obtiene los siguientes requerimientos de las figuras 3-1, 3-2, 3-3, 3-4 y 3-5.

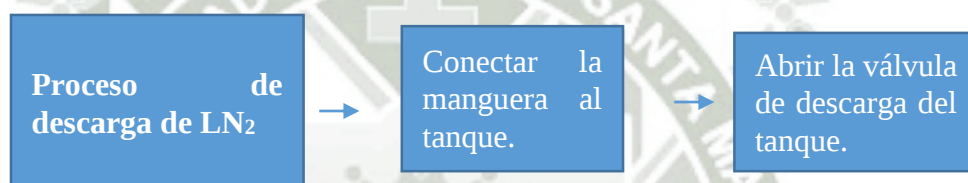


Figura 3-1: Diagrama de bloques funcionales para el Proceso de descarga de LN₂

Fuente: Elaboración Propia

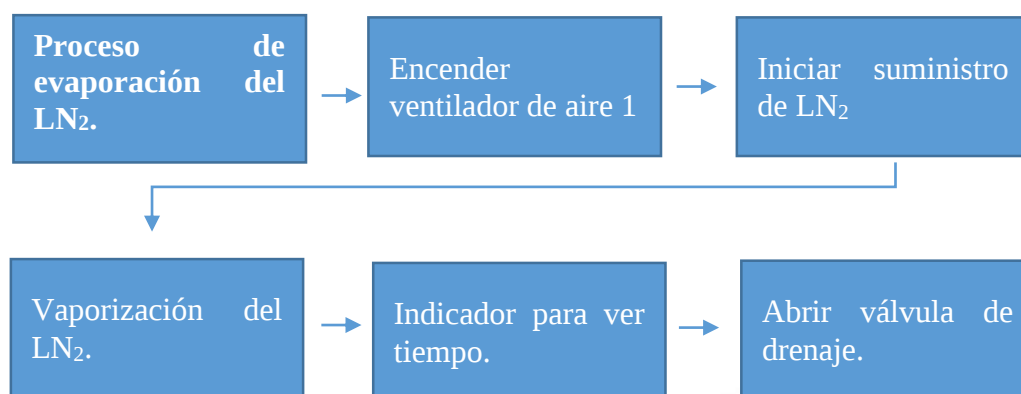


Figura 3-3: Diagrama de bloques funcionales para el Proceso de evaporación del LN_2

Fuente: Elaboración Propia

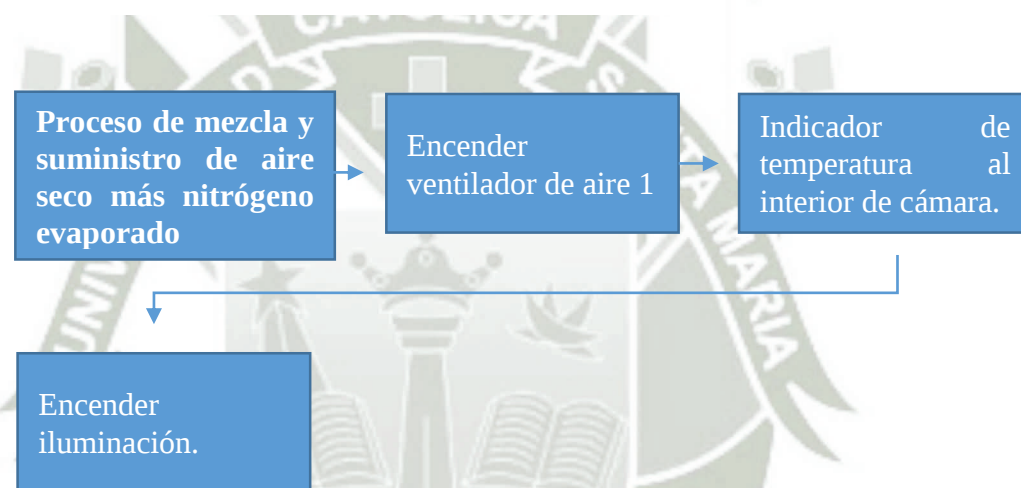


Figura 3-4: Diagrama de bloques funcionales para el Proceso de mezcla y suministro de aire seco más nitrógeno evaporado

Fuente: Elaboración Propia

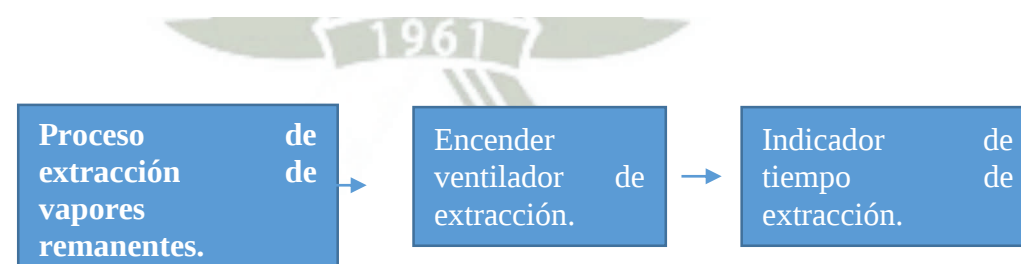


Figura 3-2: Diagrama de bloques funcionales para el Proceso de extracción de vapores remanentes

Fuente: Elaboración Propia

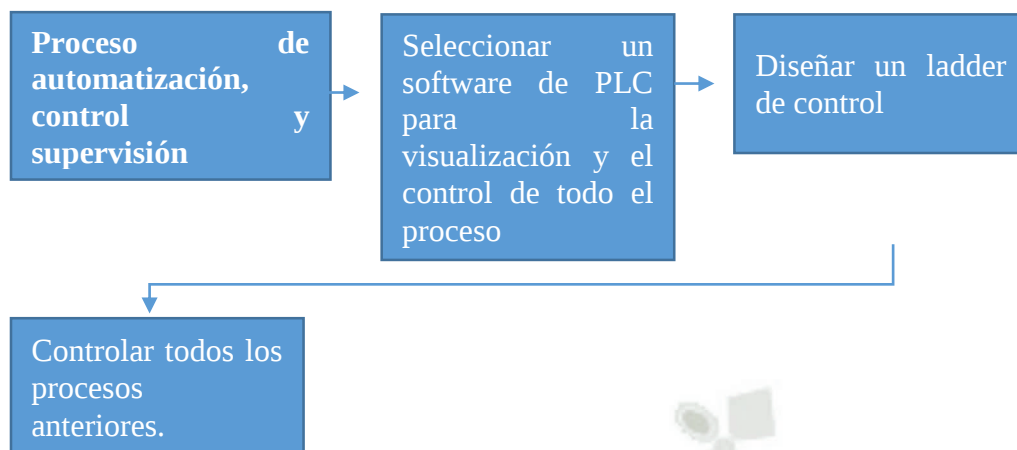


Figura 3-5: Diagrama de bloques funcionales para el Proceso de automatización, control y supervisión

Fuente: Elaboración Propia

3.2.4. DETERMINAR LAS ENTRADAS Y SALIDAS DE CADA PROCESO (BLACK-BOX)

Tabla 3-2: Black Box del proceso de descarga del LN₂

ENTRADAS	SUBPROCESO	SALIDAS
Energía mecánica	Conectar la manguera al tanque	Trabajo
Energía mecánica	Abrir la válvula de descarga del tanque	- Descarga de nitrógeno - Filtración - Condensación de humedad en manguera - Congelamiento de acople

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3-3: Black Box del proceso de evaporación del LN₂

ENTRADAS	SUBPROCESO	SALIDAS
- Energía mecánica - Energía eléctrica - Fuerza de empuje - Sistema de accionamiento de ventilador	Encender ventilador de aire 1	- Trabajo - Turbulencia - Aire a velocidad - Humedad - Ruido
- Energía mecánica - Energía eléctrica - Sistema de accionamiento de válvula solenoide	Iniciar suministro de LN ₂	- Trabajo - Consumo de energía eléctrica - Vibración - Ruido - Congelación de humedad en evaporador
- Energía del flujo - Diferencia de presiones	Vaporización del LN ₂ .	Transferencia de calor, evaporación del líquido
- Sistema de visualización - Sistema de control de tiempo - Energía eléctrica	Indicador para ver tiempo	Consumo de energía eléctrica
- Energía mecánica - Energía eléctrica - Sistema de accionamiento de válvula	Abrir válvula de drenaje	- Consumo de energía eléctrica - Humedad del aire condensada. - Trabajo

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3-4: Black Box del proceso de mezcla y suministro de aire seco más nitrógeno evaporado

ENTRADAS	SUBPROCESO	SALIDAS
• Energía eléctrica • Energía mecánica • Sistema de accionamiento de ventilador	Encender ventilador de aire 1	• Trabajo • Ruido • Vibración • Consumo de energía eléctrica • Calor • Turbulencia aguas arriba
• Energía eléctrica • Sensor de temperatura. •	Indicador de temperatura al interior de cámara	• Consumo de energía eléctrica
• Energía eléctrica • Sistema de control de iluminación • Luminarias	Encender iluminación	• Consumo de energía eléctrica • Calor

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3-5: Black Box del proceso de extracción de vapores remanentes

ENTRADAS	SUBPROCESO	SALIDAS
• Energía eléctrica • Energía mecánica • Sistema de accionamiento de ventilador	Encender ventilador de extracción 2	• Trabajo • Ruido • Vibración • Consumo de energía eléctrica • Calor • Turbulencia aguas arriba

• Sistema de visualización. • Sistema de control de tiempo • Energía eléctrica	Indicador de tiempo de extracción	• Consumo de energía eléctrica
--	-----------------------------------	--

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3-6: Black Box del proceso de automatización, control y supervisión

ENTRADAS	SUBPROCESO	SALIDAS
• Energía eléctrica	Seleccionar un software de PLC para la visualización y el control de todo el proceso	• Control de la sesión de crioterapia • Seguridad • Consumo de energía eléctrica. • Ahorro de costos operativos
• Ingeniero diseñador	Diseñar un ladder de control	• Programa de control
• Energía eléctrica • PLC	Controlar todos los procesos anteriores	• Control de timers • Control de válvula solenoide • Control de drenaje • Visualización de datos (temperatura) • Consumo de energía eléctrica

Fuente: Elaboración Propia

3.2.5. PROBLEMAS QUE PRESENTAN LAS SALIDAS

- Trabajo
- Filtración.
- Condensación de humedad en manguera.
- Congelamiento de acople.
- Turbulencia.
- Aire a velocidad.
- Humedad.
- Ruido.
- Consumo de energía eléctrica.
- Vibración.
- Humedad del aire condensada.
- Calor
- Congelación de humedad en evaporador.

3.2.6. SOLUCIONES PLANTEADAS A SALIDAS

- Se recomendará cual será la correcta forma de acoplar la manguera al tanque de LN_2 para evitar filtraciones y congelación alrededor del acople.
- La congelación de la humedad alrededor de la manguera es un problema que puede afectar considerablemente al proceso, para eso se utilizará una manguera criogénica (con alta resistencia a la transferencia de calor).
- Se plantea, también, realizar un periodo de secado del serpentín del evaporador, haciendo funcionar únicamente el ventilador de aire (sin que haya suministro de nitrógeno a la cámara) de modo que el aire ayude a condensar el hielo formado dentro del evaporador. Este tiempo de secado se realizará cada cierto número de sesiones.

- Diseñar un sistema de desagüe en la parte inferior del evaporador.

3.2.7. PRINCIPIOS TECNOLÓGICOS POSIBLES PARA SOLUCIONAR LOS PROCESOS TÉCNICOS

Tabla 3-7: Proceso de descarga de LN₂

PROCESO DE DESCARGA DE LN ₂	TECNOLOGÍA DISPONIBLE
Conectar la manguera al tanque.	• Acoples especiales bridados, acople macho NPT, acople flare
Abrir la válvula de descarga del tanque	• Válvula manual

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3-8: Proceso de evaporación del LN₂

PROCESO DE EVAPORACIÓN DEL LN ₂	TECNOLOGÍA DISPONIBLE
Encender ventilador de aire 1	• Switch manual, control eléctrico, PLC, ventilador axial con motor eléctrico
Iniciar suministro de LN ₂	• Control manual, Válvula solenoide más PLC, válvula de seguridad
Vaporización del LN ₂	• Intercambiador de calor tubos, evaporador concha y tubos, evaporador placas
Indicador para ver tiempo	• Timer manual, Timer con PLC
Abrir válvula de drenaje	• Control manual, Válvula controlada eléctricamente con PLC, sin válvula, ductos metálicos

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3-9: Proceso de mezcla y suministro de aire seco más nitrógeno evaporado

PROCESO DE MEZCLA Y SUMINISTRO DE AIRE SECO MÁS N₂ EVAPORADO	TECNOLOGÍA DISPONIBLE
Encender ventilador de aire 1	Control manual con Switch, Control eléctrico con PLC, ventilador axial conectado al motor
Indicador de temperatura al interior de cámara	Termómetro de resistencia metálica, termómetro de resistencia no metálica, termocuplas, control manual, control con PLC
Encender iluminación	Control manual con Switch, control eléctrico con PLC

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3-10: Proceso de extracción de vapores remanentes

PROCESO DE EXTRACCIÓN DE VAPORES REMANENTES	TECNOLOGÍA DISPONIBLE
Encender ventilador de extracción 2	Control manual, control eléctrico con PLC, ventilador axial con motor eléctrico
Indicador de tiempo de extracción.	Timer simple, timer controlado por PLC

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3-11: Proceso de automatización, control y supervisión

PROCESO DE AUTOMATIZACIÓN, CONTROL Y SUPERVISIÓN	TECNOLOGÍA DISPONIBLE
Seleccionar un software de PLC para la visualización y el control de todo el proceso	Siemens Simatic, Automation Studio, Allen Bradley, Omron, Telemecanique, Mitsubishi, ABB Robot Studio
Diseñar un ladder de control	Lenguajes de programación
Controlar todos los procesos anteriores	Software de programación PLC, mando inalámbrico, teclado

Fuente: Elaboración Propia



3.2.8. MATRIZ MORFOLÓGICA

Tabla 3-12: Matriz Morfológica (Análisis de 3 alternativas)

MATRIZ MORFOLÓGICA			
FUNCIONES PRINCIPALES	SOLUCIÓN 1	SOLUCIÓN 2	SOLUCIÓN 3
PROCESO DE DESCARGA DE LN₂			
Conectar la manguera al tanque	Acople bridado	Acople macho NPT	Acople Flare 45°
Abrir la válvula de descarga del tanque	Válvula manual		-
PROCESO DE EVAPORACIÓN DEL LN₂			
Encender ventilador de aire 1	Control manual	Control eléctrico	Control eléctrico con PLC
Iniciar suministro de LN ₂	Válvula manual	Válvula solenoide	Válvula solenoide con PLC
Vaporización del LN ₂	IC Tubos cruzado	IC Concha y tubos	IC Placas
Indicador para ver tiempo	Timer manual	Timer con PLC	
Abrir válvula de drenaje	Válvula manual	Válvula con control eléctrico	Sin Válvula
PROCESO DE MEZCLA Y SUMINISTRO DE AIRE SECO MÁS N₂ EVAPORADO			
Encender ventilador de aire 1	Control manual	Control eléctrico	Control eléctrico con PLC
Indicador de temperatura al interior de cámara	Termómetro de resistencia metálica	Termómetro de resistencia no-metálica	Termocupla
Encender iluminación	Control manual	Control eléctrico	Control eléctrico con PLC
PROCESO DE EXTRACCIÓN DE VAPORES REMANENTES.			
Encender ventilador de extracción 2	Control manual	Control eléctrico	Control eléctrico con PLC
Indicador de tiempo de extracción	Timer manual	Timer con PLC	-
PROCESO DE AUTOMATIZACIÓN, CONTROL Y SUPERVISIÓN			
Seleccionar un software de PLC para la visualización y el control de todo el proceso	Telemecanique Scheider (Twido Suite)	ABB Robot Studio	Movil PLC SEW
Diseñar un ladder de control	Ingeniero diseñador	Implementar las instrucciones del software y descargar un programa	-
Controlar todos los procesos anteriores	Software de control mando inalámbrico, captadores y accionadores	Software de controles consola de control, captadores y accionadores	Control manual

Fuente: Elaboración Propia

3.2.9. CONCEPTO ÓPTIMO Y VARIANTES QUE LO CONDICIONAN

Tabla 3-13: Solución óptima para el proceso de descarga de LN₂

FUNCIONES PRINCIPALES	SOLUCIÓN ÓPTIMA	RESULTADO
Conectar la manguera al tanque	Acople Flare 45°	El acople entre la manguera y el equipo se realizará mediante un acople Flare, que es sencillo de conectar y seguro
Abrir la válvula de descarga del tanque	Válvula manual	La única forma de abrir la válvula de descarga del tanque es de forma manual, para esto hay que seguir las recomendaciones de seguridad que se presentarán en el presente proyecto

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3-14: Solución óptima para el proceso de evaporación del LN₂

FUNCIONES PRINCIPALES	SOLUCIÓN ÓPTIMA	RESULTADO
Encender ventilador de aire	Control eléctrico con PLC	Se controlará el ventilador centrífugo con un sistema de control PLC, para automatizar el equipo
Iniciar suministro de LN ₂	Válvula solenoide con PLC	El suministro de 1kg/min de LN ₂ se controlará mediante una válvula solenoide y un sistema de control PLC
Vaporización del LN ₂	IC Tubos, flujo cruzado	El intercambiador de calor que presenta ventajas técnicas y económicas para su fabricación es el de flujo cruzado
Indicador para ver tiempo	Timer con PLC	El tiempo de la sesión (3 minutos) se controlará con ayuda del PLC
Abrir válvula de drenaje	Sin Válvula	Se consideró que no era necesario tener una válvula de descarga, por lo que el condensado pasará directamente al drenaje

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3-15: Solución óptima para el proceso de mezcla y suministro de aire seco más nitrógeno evaporado

FUNCIONES PRINCIPALES	SOLUCIÓN ÓPTIMA	RESULTADO
Encender ventilador de aire 1	Control eléctrico con PLC	El panel de control deberá tener un botón/pulsador que dé inicio a todo la sesión de la crioterapia
Indicador de temperatura al interior de cámara	Termómetro de resistencia no-metálica	El termómetro de resistencia no-metálica se conectará a un display simple para mostrar en tiempo real la temperatura al interior de la cámara
Encender iluminación	Control eléctrico con PLC	Habrà un botón/pulsador especial que controle la iluminación dentro de la cámara

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3-16: Solución óptima para el proceso de extracción de vapores remanentes

FUNCIONES PRINCIPALES	SOLUCIÓN ÓPTIMA	RESULTADO
Encender ventilador de extracción 2	Control eléctrico con PLC	El panel de control deberá tener un botón/pulsador que dé inicio a todo la sesión de la crioterapia incluida la extracción de gases al final
Indicador de tiempo de extracción.	Timer con PLC	El panel de control tendrá un display donde muestre el tiempo de extracción de gases

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3-17: Solución óptima para el proceso de automatización, control y supervisión

FUNCIONES PRINCIPALES	SOLUCIÓN OPTIMA	RESULTADO
Seleccionar un software de PLC para la visualización y el control de todo el proceso	Telemecanique Scheider (Twido Suite)	Sensor (Termómetro) para medir la temperatura, válvula solenoide, timers para sistema y extracción de vapores remanentes. El operario control el sistema INICIO/PARADA
Diseñar un ladder de control	Ingeniero diseñador	El ladder de control tiene por objetivo representar de forma gráfica los esquemas eléctricos del equipo en general, y simular el proceso
Controlar todos los procesos anteriores	Software de controles PLC, consola de control, captadores y accionadores	Se automatiza el proceso de suministro de LN ₂ , los 2 ventiladores, la válvula, y los tiempos.

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3-18: Variables Técnicas

VARIABLES TÉCNICAS	DEFINICIÓN DE VARIABLES
Buen uso de la energía	El tipo de proceso según su distribución se define: un operario para dar inicio a la sesión, 2 motores eléctricos de los ventiladores, 1 actuador (válvula), y un sistema de control automático que supervisa el PLC
Seguridad	La protección activa de la máquina tiene: un botón de parada de emergencia que cerrará el suministro de LN ₂ y activará el sistema de extracción de vapores remanentes, pero dejará funcionando un periodo de tiempo el ventilador de aire para ventilar la cámara; Se seguirán todas las recomendaciones que manda la empresa que suministra el LN ₂ (Anexo 2); Se adecuarán los elementos a la norma ANSI/IEC 60529 – 2004 (Anexo 3) en

	el grado de protección IP en equipos eléctricos
Rapidez	La sesión tendrá una duración única de 3 minutos, tiempo que se obtuvo de estudios/investigaciones. Revisar <i>capítulo 2</i>
Estabilidad	Se usa una estructura de acero, la cual se analizará con un software de estructuras y como medida de protección, se recubrirá el acero con pintura para protegerlo de la corrosión
Manipulación	Durante una sesión de crioterapia queda impedida cualquier manipulación del sistema, el programa detendrá la sesión una vez transcurran los 3 minutos establecidos
Facilidad de manejo	El sistema de control tiene: una consola de control con 1 botón de inicio, 1 botón de emergencia, 1 botón para iluminación y un Switch general
Transportabilidad	La máquina no excederá las medidas definidas en la lista de exigencias. Las piezas de la máquina se pueden desajustar para su transporte

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3-19: Variables Económicas

VARIABLES ECONÓMICAS	DEFINICIÓN DE VARIABLES
Facilidad de montaje	Los módulos serán unidos mediante tuercas de rápido ajuste, cada módulo será soldado
Costo de Nitrógeno	Se busca el mejor proveedor de LN ₂ del mercado, y se escoge al más económico
Costos diversos	Se seleccionan catálogos con la mejor relación costo/calidad de partes y piezas

Fuente: Elaboración Propia

3.3.PROYECTAR

En esta fase se entra profundamente en la concretización del diseño.

3.3.1. DETERMINAR EL PROYECTO PRELIMINAR

El diseño se inicia al seleccionar los materiales para todo el sistema de suministro de nitrógeno, siendo los ductos de acero inoxidable y el evaporador de cobre.

El material para la estructura general de la máquina será acero al carbón por su resistencia.

3.4.ELABORACIÓN DE DETALLES

3.4.1. DETALLAR

Con los datos del proyecto preliminar, se procede al diseño en el software CAD.

El diseño se realizó en Autodesk Inventor 2015, diseñando cada pieza en 3D, el diseño se realizó en escala 1:1, el material estructural elegido es acero grado 36.

3.4.2. PROPORCIONAR EL FUNDAMENTO

Este punto se desarrolla en el CAPÍTULO IV INGENIERÍA DE DISEÑO

3.4.3. ELABORACIÓN DE FORMAS, DIMENSIONES DEFINITIVAS Y COMPLETAS

Este punto se desarrolla en los PLANOS ADJUNTOS DE DETALLE

3.4.4. DETERMINAR COMPLETA Y DEFINITIVAMENTE EL MATERIAL, CLASES DE FABRICACIÓN, TOLERANCIAS Y CALIDAD DE ACABADO SUPERFICIAL

Este punto se desarrolla en los PLANOS ADJUNTOS DE DETALLE

3.4.5. REPRESENTAR LAS PIEZAS, DIMENSIONAR, DAR LAS TOLERANCIAS Y CALIDAD DEL ACABADO SUPERFICIAL

Este punto se desarrolla en los PLANOS ADJUNTOS DE DETALLE



CAPÍTULO IV

INGENIERÍA DE DISEÑO

En este capítulo se presentarán los cálculos de diseño de cada componente de la cámara criogénica.

4.1. DISEÑO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DE VAPOR

Se inicia con el diseño del intercambiador de calor de flujo cruzado, a continuación se presentarán algunas consideraciones respecto al diseño y cálculos del evaporador:

- Se asume que el nitrógeno líquido ingresa al intercambiador de calor como líquido saturado a temperatura de 80 K.
- Primero se calculará el calor transmitido por la longitud estimada, para el serpentín que se encuentra dentro del intercambiador de calor, posteriormente se calculará el calor transmitido por los codos de 180° ubicados en el exterior del intercambiador.
- Debido a que la caída de presión dentro del serpentín es baja, se considera que la presión de salida es igual a la presión de entrada.

- Como dato, se tiene que en la gran mayoría de cámaras criogénicas usadas como criosaunas, existentes en el mercado, tienen un consumo medio de 1 kg/min de LN₂ dato que se tomará como base para el diseño del evaporador.
- El aire de ingreso tiene una temperatura promedio anual de 21°C y una humedad de 45%¹⁹.

Estas consideraciones nos permiten iniciar con los cálculos, a continuación se presentan los datos de entrada.

Los datos del aire se presentan en el siguiente cuadro:

Tabla 4-1: Datos del aire que entra al Evaporador

	T(°C)	P(Kpa)	Humedad
Aire Entrada al Evaporador	21	101.3	45%
Aire Salida del Evaporado	-30	101.3	-

Fuente: Elaboración Propia

Los datos del nitrógeno se presentan en el siguiente cuadro:

Tabla 4-2: Datos del Nitrógeno que entra al Evaporador

	Estado	T(°C)	P(Kpa)
Nitrógeno a la entrada	Líquido saturado	-193	137
Nitrógeno a la salida	Vapor saturado	-193	137

Fuente: Elaboración Propia

¹⁹ La humedad se sacó de un promedio entre los años 2001 y 2012 publicado por INEI. Más información en: www1.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/Cap02050.xls

Los datos del tubo a utilizar como serpentín del evaporador son:

Tabla 4-3: Datos del tubo del Evaporador

Material	Cobre
Diámetro Nominal (Pulg)	3/8
Diámetro Interno (Pulg)	0.45
Diámetro Externo (Pulg)	0.5
Longitud Estimada (m)	5
Conductividad Térmica (W/m K)	482

Fuente: Elaboración Propia

4.1.1. DISEÑO DEL EVAPORADOR

Se procede con el diseño del evaporador de nitrógeno, en la figura 4-1 se muestra un esquema del evaporador. En dicho esquema se muestra que se utilizará un serpentín, por el que circulará el nitrógeno, y por el exterior circulará aire a una velocidad determinada.

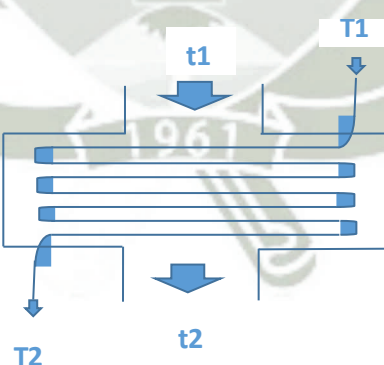


Figura 4-1: Esquema de evaporador (T_1 y T_2 para el aire, t_1 y t_2 para el nitrógeno)

Fuente: Elaboración Propia

Los que se hará en el presente capítulo es demostrar que los datos propuestos en el punto 4.1. *DISEÑO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DE VAPOR*, son correctos, en especial la longitud y la temperatura de salida del aire.

4.1.1.1. CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE CALOR INTERIOR

Para poder iniciar con los cálculos se necesitan algunos datos del nitrógeno saturado a la temperatura media que es 85 K²⁰,

Tabla 4-4: Datos del Nitrógeno Saturado

Estado	Símbolo	Vapor Saturado	Líquido Saturado	Unidad	Anexo
Densidad	ρ	6	795	Kg/m ³	6/7
Conductividad	k	0.01	0.136	W/m°K	8/9
Visc. Din.	μ	0.006	0.1515	cP	10/11
N° Pr	Pr	0.802	2.2118	Adim.	12/13
Visc. Cin.	ν	1.0E-06	1.905E-07	m ² /s	-
Difusividad	α	-	8.3E-08	m ² /s	-
Tensión Sup.	σ	-	0.082	N/m	14

Fuente: Elaboración Propia

Para proceder con los cálculos. Como se vio en el *Capítulo 2*, se usará la metodología de Klimenko, el cual comprende varios parámetros. Se calcula el flujo interior de calor, para esto se necesita el calor de evaporación del nitrógeno (Anexo 18):

²⁰ Se sabe que cuando hay un proceso de evaporación no hay cambio de temperatura, por eso es que se toman los 85 K.

$$\dot{Q}_{evap} = \dot{m}h_{fg}$$

$$\dot{Q}_{evap} = 1 \frac{kg}{min} \frac{1min}{60s} 195.089 \frac{kJ}{kg} \frac{1000J}{1kJ}$$

$$\dot{Q}_{evap} = 3251.48W$$

A continuación se halla el flujo interior de calor:

$$q_i = \frac{\dot{Q}_{evap}}{A_s} = \frac{\dot{Q}_{evap}}{\pi D_i L}$$

$$q_i = \frac{3251.48W}{\pi \frac{11.43}{1000} m 5m}$$

$$q_i = 18109.87 \frac{W}{m^2}$$

Se calcula el flujo másico de nitrógeno por unidad de área:

$$G = \frac{\dot{m}}{A_t} = \frac{\dot{m}}{\frac{\pi}{4} D_i^2}$$

$$G = \frac{1 \frac{kg}{min} \frac{1min}{60s}}{\frac{\pi}{4} \left(\frac{11.43}{1000} m\right)^2}$$

$$G = 162.43 \frac{kg}{s m^2}$$

Klimenko define una ecuación para definir el régimen predominante, la ecuación ϕ es la siguiente:

$$\phi = \frac{Gh_{fg}}{q_i} \left[1 + x \left(\frac{\rho_l}{\rho_v} - 1 \right) \right] \left(\frac{\rho_v}{\rho_l} \right)^{1/3}$$

$$\phi = \frac{162.43 \frac{kg}{s m^2} 195.089 \frac{kJ}{kg} \frac{1000J}{1kJ}}{18109.87 \frac{W}{m^2}} \left[1 + 0.5 \left(\frac{795 \frac{kg}{m^3}}{6 \frac{kg}{m^3}} - 1 \right) \right] \left(\frac{6 \frac{kg}{m^3}}{795 \frac{kg}{m^3}} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$\phi = 22910.245$$

El régimen predominante es el pelicular.

Se realizan los cálculos para hallar el coeficiente de transferencia de calor para una ebullición pelicular, empezando con el parámetro de Laplace:

$$L_c = \left(\frac{\sigma}{g(\rho_l - \rho_v)} \right)^{1/2}$$

$$L_c = \left(\frac{0.082 \frac{N}{m}}{9.81 \frac{m}{s^2} \left(795 \frac{kg}{m^3} - 6 \frac{kg}{m^3} \right)} \right)^{1/2}$$

$$L_c = 0.00325m$$

Número de Reynolds:

$$Re' = \frac{L_c G}{\nu_l \rho_l} \left[1 + x \left(\frac{\rho_l}{\rho_v} - 1 \right) \right]$$

$$Re' = \frac{0.00325m \cdot 162.43 \frac{kg}{s m^2}}{1.905 \times 10^{-7} \frac{m^2}{s} \cdot 795 \frac{kg}{m^3}} \left[1 + 0.5 \left(\frac{795 \frac{kg}{m^3}}{6 \frac{kg}{m^3}} - 1 \right) \right]$$

$$Re' = 232976$$

Número de Nusselt:

$$Nu = 0.087 Re'^{0.6} Pr_l^{\frac{1}{6}} \left(\frac{\rho_v}{\rho_l} \right)^{0.2} \left(\frac{k_w}{k_l} \right)^{0.09}$$

$$Nu = 0.087 \cdot 232976^{0.6} \cdot 2.2181^{1/6} \left(\frac{6 \frac{kg}{m^3}}{795 \frac{kg}{m^3}} \right)^{0.2} \left(\frac{482 \frac{W}{m K}}{0.136 \frac{W}{m K}} \right)^{0.09}$$

$$Nu = 129.59$$

Coeficiente de transferencia de calor de flujo bifásico para ebullición pelicular:

$$h_{BF} = \frac{Nuk_l}{L_c}$$

$$h_{BF} = \frac{129.59 \cdot 0.136 \frac{W}{m K}}{0.00325m}$$

$$h_{BF} = 5414.88 \frac{W}{m^2 K}$$

Klimenko aconseja realizar un promedio del coeficiente de flujo bifásico con el coeficiente de calor de fase líquida que es:

$$Re_l = \frac{G(1-x)D_i}{\mu_l}$$

$$Re_l = \frac{162.43 \frac{kg}{s m^2} (1-0.5) \frac{11.43}{1000} m}{0.1515 cP}$$

$$Re_l = 1225.67$$

$$h_l = 0.019 Re_l^{0.8} Pr_l^{0.4} \frac{k_l}{D_i}$$

$$h_l = 0.019 \cdot 1225.67^{0.8} \cdot 2.2181^{0.4} \frac{0.136 \frac{W}{m K}}{\frac{11.43}{1000} m}$$

$$h_l = 91.91 \frac{W}{m^2 K}$$

Se observa que el valor del coeficiente de transferencia de fase líquida es insignificante comparado con el coeficiente de flujo bifásico, por lo que el promedio no es necesario.

4.1.1.2.CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE CALOR EXTERIOR

Para tener los datos necesarios del aire, se necesita primero hallar la temperatura promedio:

$$T_{\infty} = \frac{T_{in\ air} + T_{out\ air}}{2}$$

$$T_{\infty} = \frac{294\ K + 243\ K}{2}$$

$$T_{\infty} = 268.5\ K = -4.5^{\circ}C$$

Ahora se procede a obtener datos del aire a dicha temperatura:

Tabla 4-5: Propiedades del aire a temperatura promedio

Propiedad	Símbolo	Valor	Unidad	Anexo
Conductividad térmica	k	0.0233	W/m°K	15
Número de Prandtl	Pr	0.7373	-	15
Viscosidad Cinemática	v	1.50E-5	m2/s	15
Densidad	ρ	1.3127	kg/m3	15
Calor específico	C _{pair}	1006	J/Kg°K	15
Calor específico respecto al aire seco	C _{pm}	1025	J/Kg°K	-

Fuente: Elaboración Propia

Después de cálculos iterados, se selecciona un posible ventilador para darle al aire una velocidad que le permita cumplir la transferencia de calor deseada.

Los datos del ventilador propuesto son:

Tabla 4-6: Datos técnicos del ventilador²¹

Marca	SODECA
Modelo	CMP-512-2M
Tipo	Centrífugo
Caudal máximo	490m ³ /hr
Diámetro de turbina	512mm
Velocidad	3480rpm
Potencia	0.08kW
Peso	4kg
Nivel presión sonora	62dB(A)

Fuente: Elaboración Propia

Los datos se verificarán posteriormente hallando el punto de operación del ventilador.

Velocidad del aire aproximada en la entrada del intercambiador de calor²²:

$$V_{aire} = \frac{\dot{V}}{A} = \frac{\dot{V}}{b * h}$$

$$V_{aire} = \frac{350 \frac{m^3}{hr} \frac{1hr}{3600s}}{0.25m * 0.1524m}$$

$$V_{aire} = 2.56m/s$$

Se observa que ya se proponen las medidas del intercambiador de calor (0.25m x 0.1524m), estas se obtuvieron luego de cálculos iterados, más adelante se definirán claramente las dimensiones.

²¹ Revisar Anexo 16.

²² Después de cálculos iterados se asume un caudal de aire de 350m³/hr, el cual más adelante se verificará con la curva de operación del ventilador.

Se procede a calcular el coeficiente de transferencia de calor externo para un banco de tubos:

$$Re = \frac{V_{aire} D_e}{\nu}$$

$$Re = \frac{2.56 \frac{m}{s} \cdot \frac{12.7}{1000} m}{1.50E-5 \frac{m^2}{s}}$$

$$Re = 2168.77$$

A continuación se halla la relación de áreas²³:

$$\frac{A_e}{A_{td}} = R \frac{D_i}{D_e} = 4 \frac{11.43mm}{12.7mm}$$

$$\frac{A_e}{A_{td}} = 3.6$$

Se calcula el factor *Jota*:

$$j_4 = 0.0014 + 0.2618 Re_D^{-0.4} \left(\frac{A_e}{A_{td}} \right)^{-0.15}$$

$$j_4 = 0.0014 + 0.2618 \cdot 2168.77^{-0.4} \cdot 3.6^{-0.15}$$

$$j_4 = 0.0114009$$

Se procede a hallar el número de Stanton:

$$St = \frac{j}{Pr^{2/3}} = \frac{0.0114009}{0.7373^{2/3}}$$

$$St = 0.0139$$

Finalmente se halla el coeficiente de transferencia de calor externo:

$$h_o = St \rho V_{aire} c_{pm}$$

²³ Se observa que se propone al valor de R como 4, este dato se verificará más adelante.

$$h_o = 0.0139 \cdot 1.3127 \frac{kg}{m^3} \cdot 2.56 \frac{m}{s} \cdot 1025 \frac{J}{kg K}$$

$$h_o = 48.116 \frac{W}{m^2 K}$$

Sin embargo, como se vio en el capítulo 2, el cálculo anterior no toma en consideración la disposición de los tubos, por lo que se aplicará una metodología que depende del coeficiente calculado h_o y de la disposición de los tubos:

Primero se define cómo sería la formación de los tubos dentro del intercambiador de calor, a continuación se muestra un esquema:

Se proceden a definir las medidas S_T y S_L :...²⁴

Tabla 4-7: Distancia entre tubos

	Símbolo	Valor
Paso transversal	S_T	38.1mm
Paso longitudinal	S_L	38.1mm

Fuente: Elaboración Propia

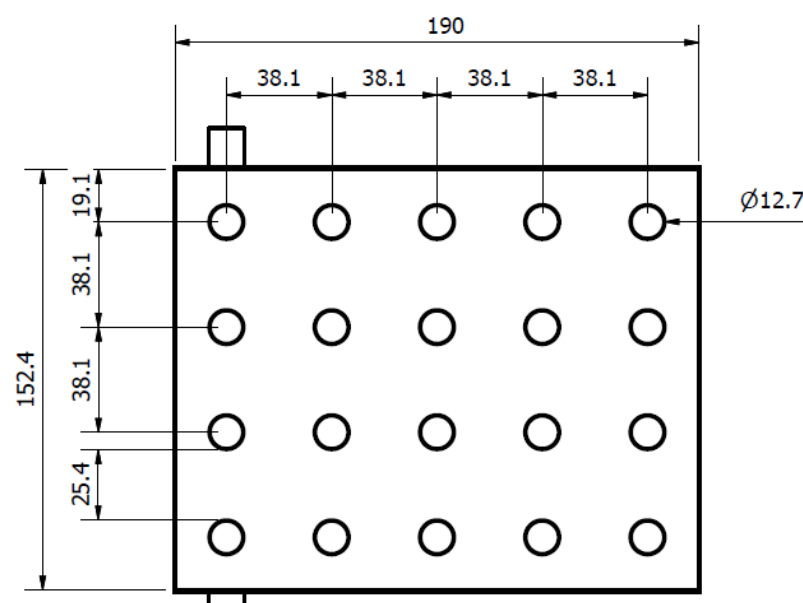


Figura 4-2: Vista transversal del evaporador

Fuente: Elaboración Propia con ayuda de Inventor Professional

²⁴ Las medidas de la figura 4-2, son aproximadas, para ver medidas reales ver Planos.

Se calcula la velocidad máxima (teórica):

$$V_{max} = \frac{S_T}{S_T - D_e} V_{aire} = \frac{38.1mm}{38.1mm - 12.7mm} 2.56 \frac{m}{s}$$

$$V_{max} = 3.84 \frac{m}{s}$$

Haciendo uso de un simulador²⁵ se procedió a verificar este valor, primero modelando el evaporador en un software de diseño²⁶ como se muestra en la figura 4-3 y luego exportándolo al software de simulación, en donde se introdujeron los parámetros de entrada conocidos y como resultado se obtuvo lo siguiente.

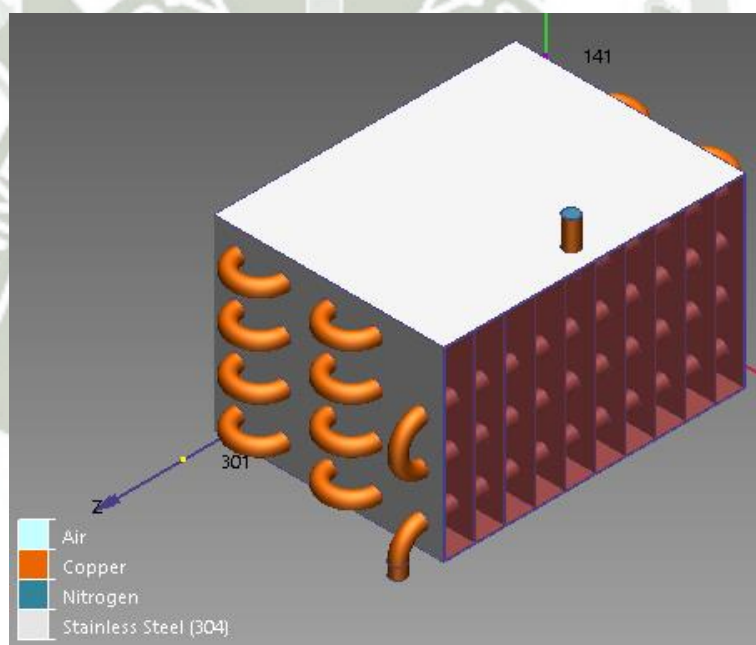


Figura 4-3: Modelamiento del evaporador

Fuente: Elaboración Propia con ayuda de Simulation CFD

²⁵ Autodesk Simulation CFD 2015, Para más información visitar:
<http://www.autodesk.es/products/simulation/features/simulation-cfd/all/gallery-view>

²⁶ Autodesk Inventor 2015, Para más información visitar:
<http://www.autodesk.es/products/inventor/overview>

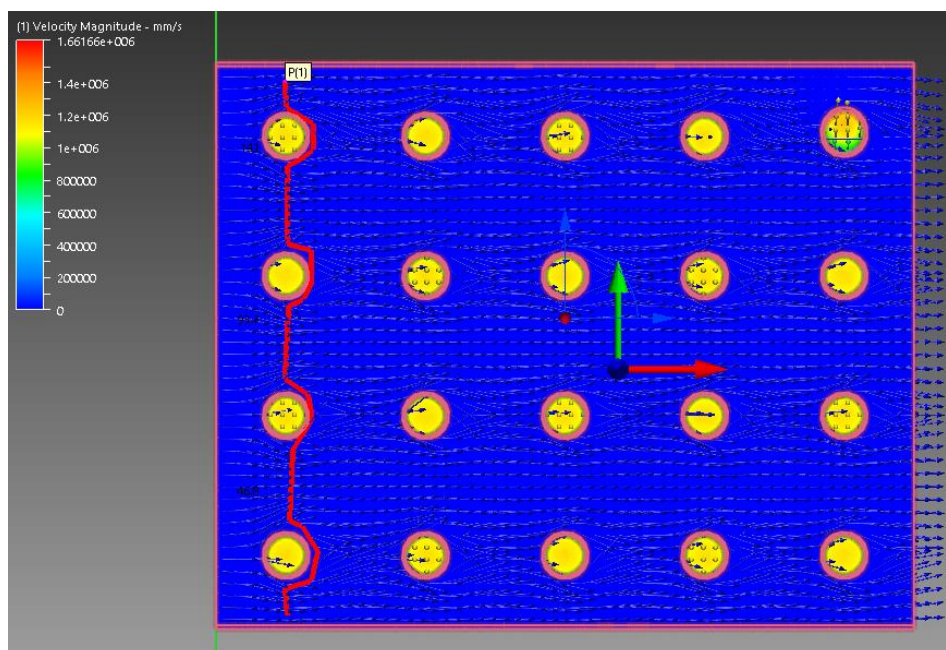


Figura 4-4: Simulación de la velocidad del aire a través del banco de tubos, en la entrada.
(Los puntos rojos indican los lugares donde se tomó la medición de la velocidad)

Fuente: Elaboración Propia con ayuda de Simulation CFD

Los valores de la magnitud de la velocidad en los puntos indicados en la figura 4-4, se grafican en la siguiente figura,

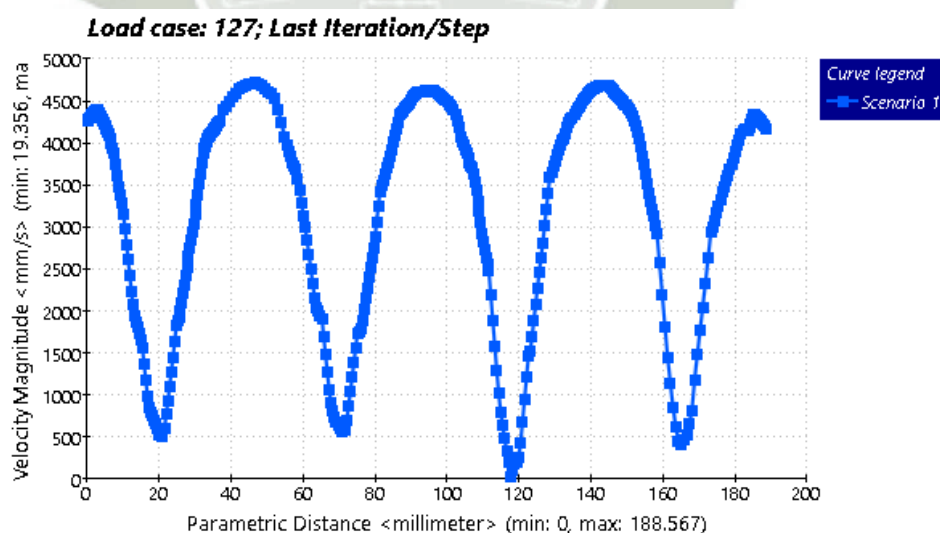


Figura 4-5: Gráfico de velocidades de Aire

Fuente: Elaboración Propia con ayuda de Simulation CFD

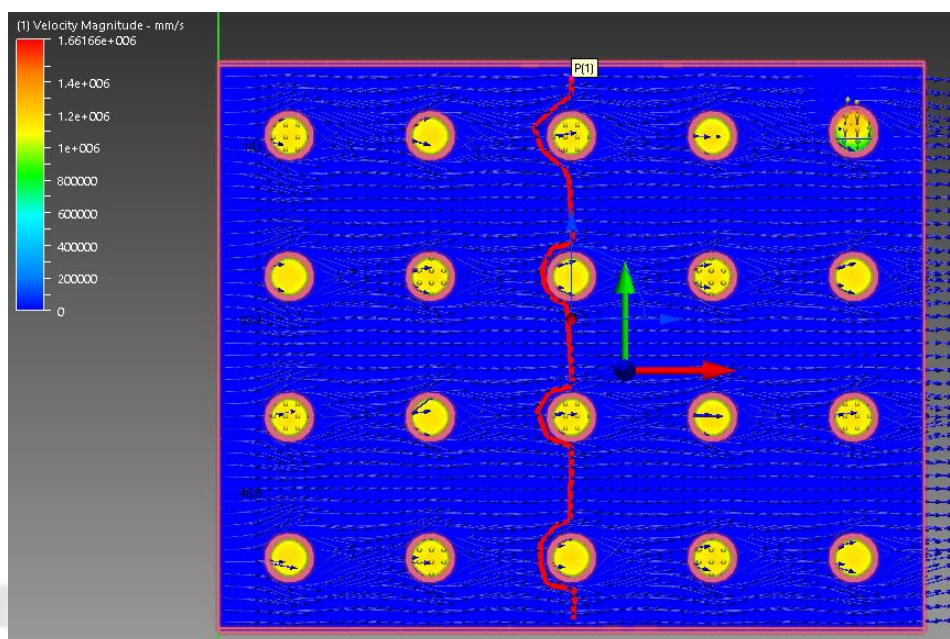


Figura 4-6: Simulación de la velocidad del aire a través del banco de tubos, en el medio. (Los puntos rojos indican los lugares donde se tomó la medición de la velocidad)

Fuente: Elaboración Propia con ayuda de Simulation CFD

Los valores de la magnitud de la velocidad en los puntos indicados en la figura 4-6, se grafican en la siguiente figura:

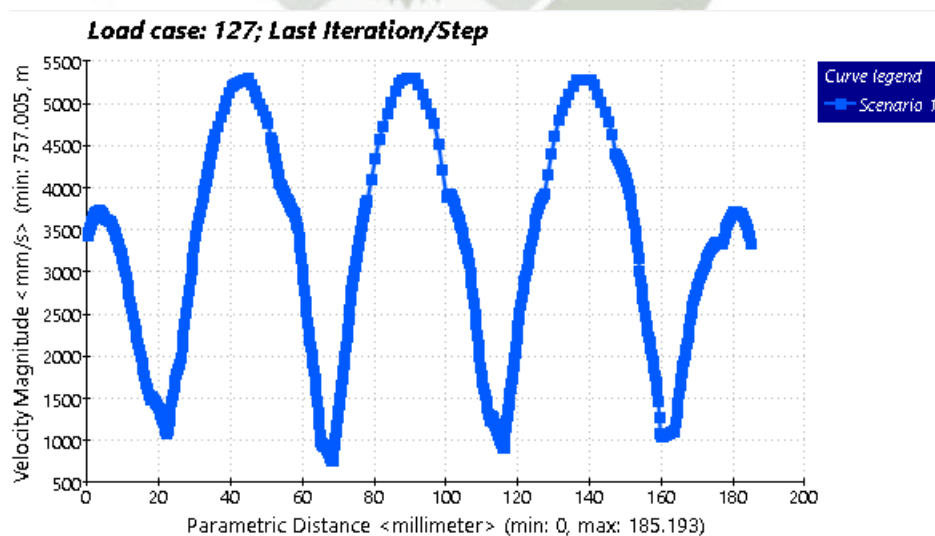


Figura 4-7: Gráfico de velocidad del aire vs. Punto de medición

Fuente: Elaboración Propia con ayuda de Simulation CFD

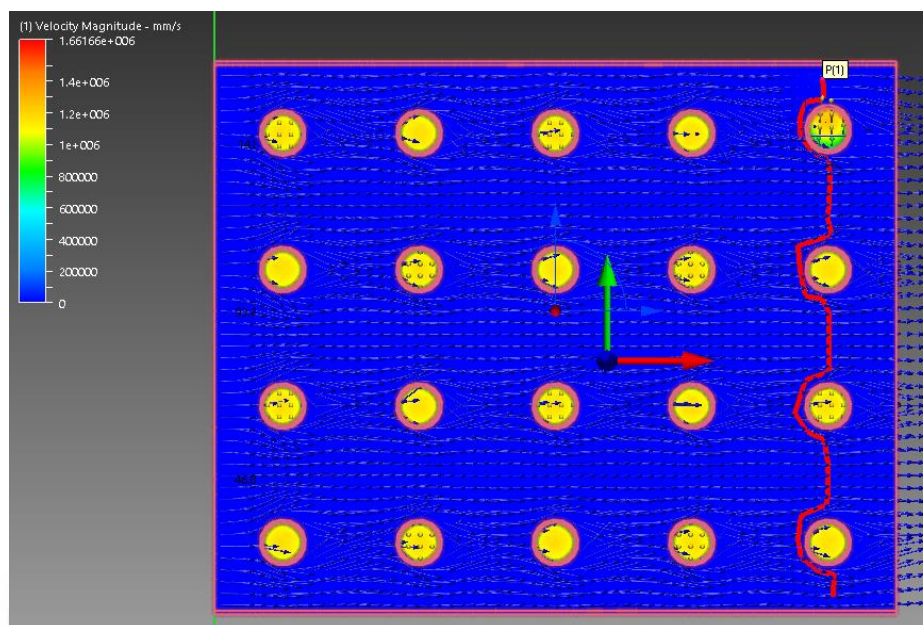


Figura 4-8: Simulación de la velocidad del aire a través del banco de tubos, en el final. (Los puntos rojos indican los lugares donde se tomó la medición de la velocidad)

Fuente: Elaboración Propia con ayuda de Simulation CFD

Los valores de la magnitud de la velocidad en los puntos indicados en la figura 4-8, se grafican en la siguiente figura

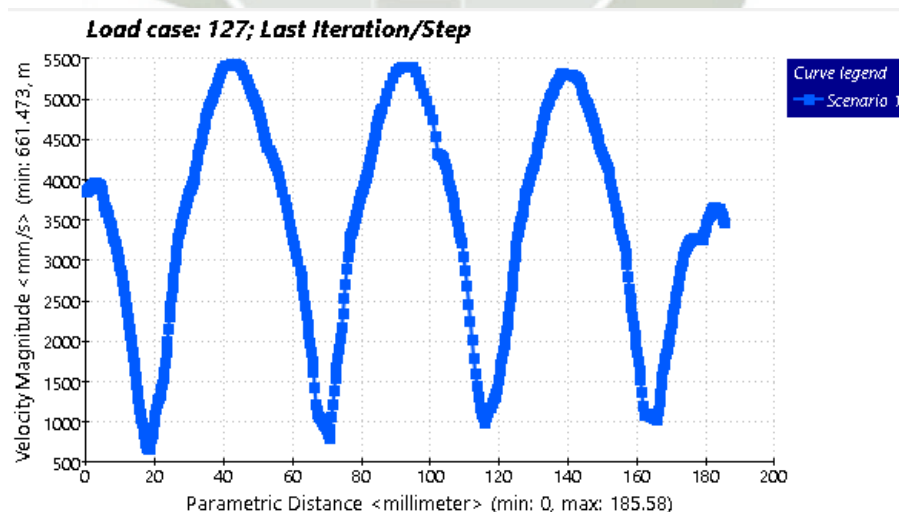


Figura 4-9: Gráfico de velocidad del aire vs. Punto de medición

Fuente: Elaboración Propia con ayuda de Simulation CFD

Como resultado se obtiene que la velocidad máxima del aire dentro del evaporador es de 5.5m/s, que es mayor a la velocidad teórica calculada (3.8m/s), por lo que se procede con los cálculos utilizando la velocidad de la simulación.

Nuevo número de Reynolds:

$$Re_D = \frac{V_{max} D_e}{\nu} = \frac{5.5 \frac{m}{s} \cdot \frac{12.7}{1000} m}{1.50E-5 \frac{m^2}{s}}$$

$$Re_D = 4659.462$$

Flujo másico de aire:

$$\dot{m} = \rho V_{aire} A_{ic} = 1.3141 \frac{kg}{m^3} \cdot 2.56 \frac{m}{s} \cdot 0.038 m^2$$

$$\dot{m} = 0.127 \frac{kg}{s}$$

La temperatura de salida se calcula con un área superficial de 0.7m² propuesta²⁷, que incluye el área de las aletas para deshumidificar el aire, y que más adelante se verificará.

$$T_{e,con aletas} = T_s - (T_s - T_i) e^{-\left(\frac{A_s h_o}{\dot{m} C_p}\right)}$$

$$T_e = 80K - (80K - 294K) e^{-\left(\frac{0.7m^2 \cdot 48.166 \frac{W}{m^2 K}}{0.127 \frac{kg}{s} \cdot 1006 \frac{J}{kg K}}\right)}$$

$$T_e = 244.65 K = -28.35^\circ C$$

²⁷ Esta área se verificará más adelante en el cálculo de área para aletas.

La temperatura externa calculada, no es precisa debido a las variables que no toma en cuenta, como la forma del área superficial o la disposición de los tubos, por lo que se decide tomar valores del software de simulación²⁸.

Si bien es cierto que en el simulador no se puede simular un flujo de nitrógeno líquido saturado, se puede aproximar la modelación, utilizando nitrógeno sobrecalentado a -193°C , aumentando el flujo másico, de modo que la temperatura superficial del serpentín sea la más constante posible (figura 4-10).²⁹

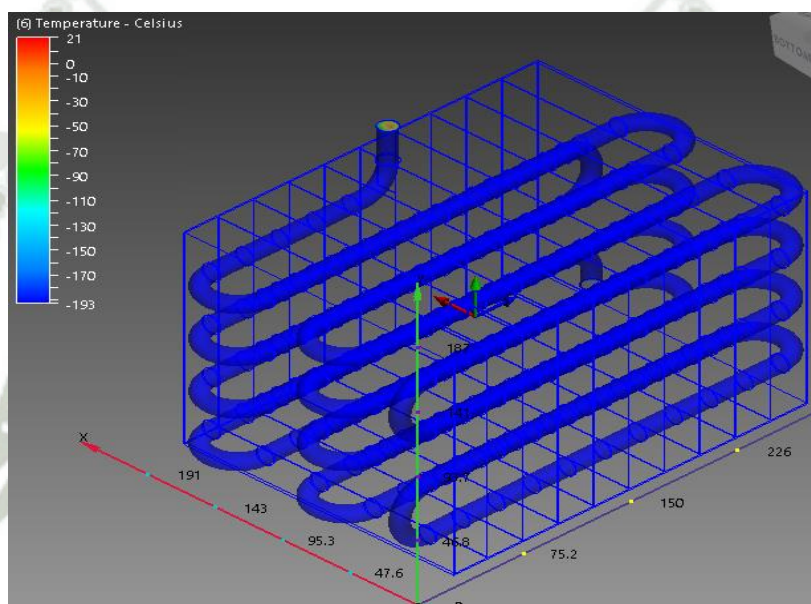


Figura 4-10: Simulación de temperatura superficial del serpentín

Fuente: Elaboración Propia con ayuda de Simulation CFD

Se crea un plano, a la salida del aire del evaporador, donde observaremos el comportamiento de la temperatura:

²⁸ Desafortunadamente en el software (Autodesk Simulation CFD 2015) no existe el fluido “nitrógeno saturado” por lo que se usó como fluido nitrógeno sobrecalentado a -193°C y se aproximaron los datos.

²⁹ Para el cálculo del coeficiente de convección exterior no interesa el estado del refrigerante, solo interesa la temperatura superficial del serpentín, que es -193°C .

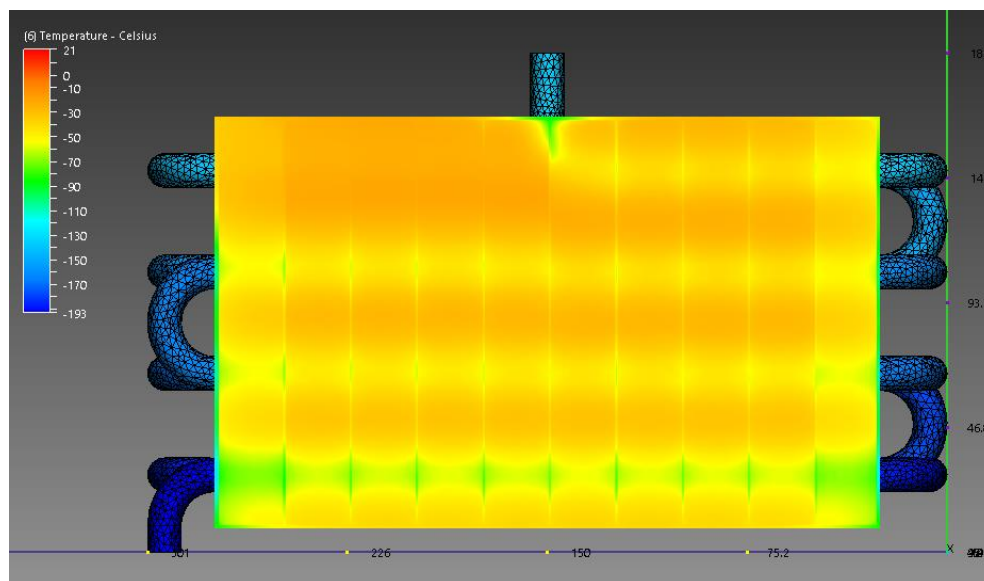


Figura 4-11: Plano de temperatura del aire a la salida del evaporador

Fuente: Elaboración Propia con ayuda de Simulation CFD

Del plano mostrado en la figura 4-11 se extraen datos de cada segmento (entre aletas) para poder sacar un promedio como se muestran en las figuras 4-12 y 4-13.

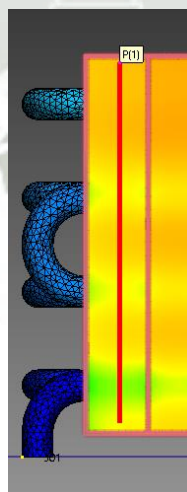


Figura 4-12: Evaluación de temperatura en el primer segmento (La línea roja indica los puntos de donde se extraerán los datos)

Fuente: Elaboración Propia con ayuda de Simulation CFD

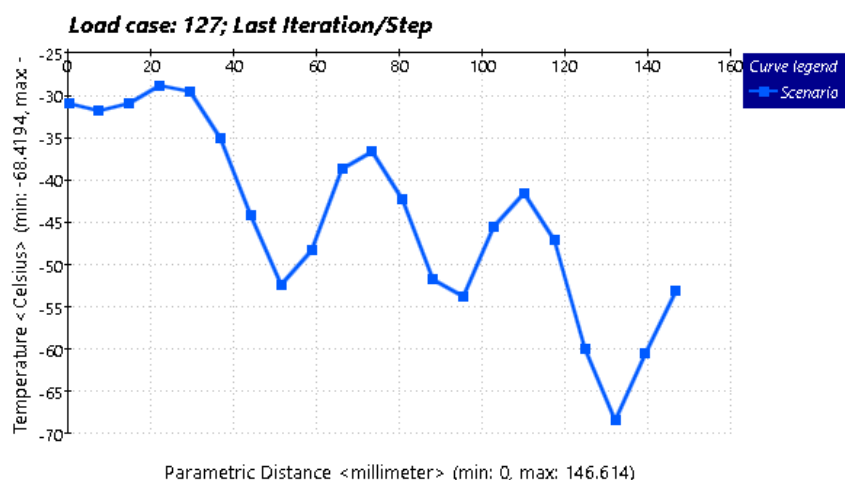


Figura 4-13: Gráfica de temperaturas del primer segmento

Fuente: Elaboración Propia con ayuda de Simulation CFD

De la misma manera se trabajan con los segmentos restantes.

Se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 4-8: Temperaturas de las diez zonas de muestreo (Valores en grados centígrados)

Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Zona 6	Zona 7	Zona 8	Zona 9	Zona 10
-21.5165	-23.3029	-22.0553	-23.4340	-28.1474	-31.2709	-21.5165	-27.1338	-21.5165	-27.1338
-25.5982	-24.3310	-23.2200	-23.7268	-25.0027	-34.6743	-31.3583	-32.1318	-33.1589	-35.5140
-30.6390	-23.8063	-22.9923	-23.2482	-23.8116	-41.7484	-38.8528	-34.5895	-31.1258	-47.8814
-28.4134	-21.7785	-20.9969	-21.2056	-21.4604	-36.3527	-36.3240	-35.0808	-35.8927	-29.0258
-29.1329	-22.3823	-21.5083	-21.4745	-21.3221	-26.9753	-27.9434	-27.0423	-27.8370	-28.1250
-34.4907	-27.6615	-21.1554	-26.2617	-25.8306	-24.5021	-24.8318	-25.0074	-25.7320	-29.6978
-27.1338	-36.5738	-27.1338	-29.2210	-27.1338	-29.3970	-21.2056	-29.6978	-21.2056	-21.2056
-52.0140	-43.9498	-42.7721	-42.5778	-42.4136	-38.3662	-38.5570	-38.4906	-30.1445	-27.1338
-47.3325	-39.3308	-38.8670	-38.8590	-32.2587	-38.8704	-39.2059	-39.0832	-39.2053	-49.6193
-38.2927	-30.5752	-30.0830	-29.9350	-30.1555	-30.9376	-31.1550	-31.3361	-31.5562	-42.5074
-36.3611	-29.1378	-28.0346	-28.0664	-27.9213	-27.6286	-27.6256	-27.6390	-28.3745	-37.6705
-42.3788	-35.0144	-33.1471	-33.1649	-33.4016	-31.4411	-31.4403	-30.7123	-32.0823	-40.0622
-51.5331	-38.2547	-41.9694	-42.4831	-29.0125	-29.0692	-29.1329	-29.1850	-29.0528	-29.1329
-52.3004	-44.1544	-43.5558	-43.9490	-43.3435	-43.1327	-43.2281	-43.7470	-44.8235	-54.4838
-44.4208	-36.0859	-36.2078	-35.9553	-35.2445	-35.3799	-36.1110	-37.3642	-36.6960	-49.4774
-41.8315	-33.5386	-32.9348	-32.2179	-32.3917	-31.8349	-32.5699	-32.6218	-32.9392	-43.5066
-47.6173	-39.6831	-37.9512	-37.5001	-38.0667	-36.5587	-37.1824	-35.7208	-37.6473	-45.4704
-61.0232	-52.2623	-50.3707	-49.3372	-50.3555	-40.1247	-48.9836	-46.6611	-48.9655	-49.2547
-67.2395	-49.1269	-57.4585	-56.0763	-51.0547	-49.0125	-50.1253	-54.8885	-52.3004	-52.3004
-58.4317	-48.2917	-48.4682	-48.3103	-47.0765	-46.2552	-46.8255	-49.4105	-48.6955	-55.9851
-51.8344	-41.8415	-40.6293	-40.9364	-40.0550	-39.6062	-39.7534	-41.5402	-42.2647	-41.2350

Fuente: Elaboración Propia, En base a resultados de Simulation CFD

Se obtiene como temperatura de salida del aire promedio -36°C . Se observa que esta temperatura no es cercana a la calculada de -28.35 , por lo que se procede con los cálculos utilizando la temperatura simulada de -36°C . Se procede a hallar el número de Prandtl y la conductividad para la nueva temperatura media, y superficial:

Tabla 4-9: Datos del aire a temperatura media y superficial

	$(T_i+T_e)/2 = 265.5 \text{ K}$	$T_s = 80 \text{ K}$
Pr	0.7381	0.7231
K (W/m K)	0.0231	N/A

Fuente: Elaboración Propia

Con estos datos se procede a calcular el número de Nusselt, según el cuadro 2-5 mostrado en el capítulo 2 del presente proyecto:

Para: $1000 < Re_D < 200000$

$$Nu_D = 0.27 Re_D^{0.63} Pr^{0.36} \left(\frac{Pr}{Pr_s} \right)^{0.25}$$

$$Nu_D = 0.27 \cdot 4659.462^{0.63} \cdot 0.7381^{0.36} \cdot \left(\frac{0.7381}{0.7231} \right)^{0.25}$$

$$Nu_D = 49.79$$

Este valor de Nu_D debe ser corregido según el número de filas que posea el intercambiador de calor, en nuestro caso son 5 filas³⁰, entonces el factor de corrección F es 0.93:

$$Nu_{D,NL<16} = F Nu_D = 0.93 \cdot 49.79$$

$$Nu_{D,NL<16} = 46.31$$

³⁰ Según la bibliografía usada, se considera fila a los tubos dispuestos verticalmente.

Finalmente se calcula el coeficiente final de transferencia de calor externo:

$$h'_o = \frac{Nu_{D,NL<16} k}{D_e}$$

$$h'_o = \frac{46.31 \cdot 0.0231 \frac{W}{m K}}{\frac{12.7}{1000} m}$$

$$h'_o = 84.1171 \frac{W}{m K}$$

4.1.1.3.CÁLCULO DEL ÁREA NECESARIA PARA DESECAR EL AIRE

Las propiedades del aire a la temperatura de entrada son:

Tabla 4-10: Datos del aire a la entrada del evaporador

	TBS (°C)	Entalpía(k J/kg)	Humedad (%)	Cp _m (J/kg K)	Flujo Másico (kg/s)
Aire Entrada	21	40.75	45	1025	0.2479

Fuente: Elaboración Propia

Para no hacer el cálculo extensivamente largo se divide el serpentín en tres porciones, con lo que se tienen 4 secciones. En la última sección, asumiendo una TBH^{31} de salida de 0°C, se puede hallar la entalpía del aire con la formula empírica (Anexo 1):

³¹ TBH: Temperatura de Bulbo Húmedo o Temperatura Húmeda

$$h_{a4} = 9.473 + 1.6785t + 0.03094t^2$$

$$h_{a4} = 9.473 + 1.6785 \cdot 0 + 0.03094 \cdot 0^2$$

$$h_{a4} = 9.473 \frac{kJ}{kg}$$

La constante C del serpentín³²,

$$C = \frac{h_{ai} R}{h_{ir} c_{pm}} = \frac{84.1 \frac{kJ}{kg} \cdot 4}{2000 \frac{kJ}{kg} \cdot 1025}$$

$$C = 0.1641$$

Se procede a hallar la primera temperatura de interfase, t_{il_1} , se utiliza la primera ecuación empírica (Anexo 1) y la ecuación general de entalpía potencial:

$$\frac{t_{il_1} - t_r}{h_{a1} - h_{i_1}} = \frac{t_{il_1} - t_r}{h_{a1} - (9.473 + 1.6785t_{il_1} + 0.03094t_{il_1}^2)} = C$$

$$\frac{t_{il_1} - (-30^\circ C)}{40.75 \frac{kJ}{kg} - (9.473 + 1.6785t_{il_1} + 0.03094t_{il_1}^2)} = 0.1641$$

$$t_{il_1} = -42.30^\circ C$$

El cálculo de la entalpía del aire de cada sección se hará dividiendo la diferencia de entalpías $h_{a1} - h_{a4}$ entre el número de porciones del serpentín y restando este valor a cada entalpía.

El resto de temperaturas de interfase se hallan de la misma manera, posteriormente las entalpías de saturación a la temperatura de interfase se hallan de la tabla termodinámica del Anexo 17. Los resultados se tabularon en la siguiente tabla:

³² Se observa que el coeficiente de convección interfase-refrigerante se asume, debido a que no se cuenta con un método para determinarlo, por lo que se tomó un valor usado en varios ejemplos de *Procesos de Vaporización* [16].

Tabla 4-11: Entalpía potencial de las 4 secciones

Sección	$t_i(^{\circ}\text{C})$	$t_a(^{\circ}\text{C})$	h_a (kJ/kg)	h_i (kJ/kg)	h_a-h_i (kJ/kg)
1	-42.30	21.00	40.75	-42.29	83.04
2	-44.35	13.02	30.32	-44.38	74.70
3	-46.45	4.99	19.90	-46.51	66.41
4	-48.10	-3.12	9.47	-48.18	57.65

Fuente: Elaboración Propia

A continuación se procede a calcular el área de la primera porción:

$$A_{12} = \frac{\dot{m}(h_{a1} - h_{a2})c_{pm}}{h_{ai}(h_a - h_i)_{m12}}$$

$$A_{12} = \frac{0.127 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \left(40.75 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 30.32 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) 1025 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}}{84.1 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}} \left(\frac{83.04 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} + 74.70 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{2} \right)} = 0.2059 \text{ m}^2$$

De la misma manera se trabaja con las siguientes dos porciones, los resultados se tabulan en la siguiente tabla³³:

Tabla 4-12: Área necesaria para desecar el aire

Sección	Área (m ²)
1-2	0.2059
2-3	0.2302
3-4	0.2618
Total	0.6978

Fuente: Elaboración Propia

³³ El área total calculada en la tabla 4-12, equivale a la suma de área de aletas más área de serpentín.

Si se divide el área obtenida entre el área interior del tubo se obtiene la relación de áreas R real:

$$R = \frac{0.6978m^2}{\pi \cdot \frac{11.43}{1000}m \cdot 5m} = 3.9$$

Siendo este valor cercano al valor asumido de 4, no se necesita un recálculo.

4.1.1.4.CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA U

Se procede a calcular las resistencias térmicas asociadas al proceso de convección interna, convección externa y conducción a través de una pared sólida (tubo).

La resistencia interna se calcula a partir de:

$$R_i = \frac{1}{h_i A_i} = \frac{1}{5414.88 \frac{W}{m^2 K} \cdot \pi \cdot \frac{11.43}{1000}m \cdot 5m}$$

$$R_i = 0.00103 \frac{K}{W}$$

La resistencia de la pared del tubo:

$$R_{pared} = \frac{\ln\left(\frac{D_o}{D_i}\right)}{2\pi kL} = \frac{\ln\left(\frac{12.7}{11.43}\right)}{2\pi \cdot 482 \frac{W}{m K} \cdot 5m}$$

$$R_{pared} = 0.000007 \frac{K}{W}$$

La resistencia térmica externa:

$$R_o = \frac{1}{h_o A_o} = \frac{1}{84.117 \frac{W}{m^2 K} \cdot \pi \cdot \frac{12.7}{1000}m \cdot 5m}$$

$$R_o = 0.05962 \frac{K}{W}$$

Resistencia por incrustación en lado externo.

De la tabla 2-5 se tiene como factor de incrustación para aire 0.0004m² K/W.

$$R_{fo} = \frac{R_{f,o}}{A_o} = \frac{0.0004 \frac{m^2 K}{W}}{\pi \cdot \frac{12.7}{1000} m \cdot 5m}$$

$$R_{fo} = 0.0020 \frac{K}{W}$$

La resistencia total suma³⁴:

$$R_{total} = R_i + R_{pared} + R_o + R_{fo}$$

$$R_{total} = 0.00103 \frac{K}{W} + 0.000007 \frac{K}{W} + 0.05962 \frac{K}{W} + 0.0020 \frac{K}{W}$$

$$R_{total} = 0.0627 \frac{K}{W}$$

Se toma el coeficiente de transferencia de calor total:

$$U_i = \frac{1}{R_{total} A_i} = \frac{1}{0.0627 \frac{K}{W} \cdot \pi \cdot \frac{11.43}{1000} m \cdot 5m}$$

$$U_i = 88.926 \frac{W}{m^2 K}$$

Como se explica en el *Capítulo 2*, el análisis de intercambiadores de calor, se diferencia de un análisis común, en que se debe utilizar la diferencia media logarítmica, en lugar de una diferencia aritmética simple.

³⁴ No se considera resistencia por incrustación interna por la alta pureza del nitrógeno líquido.

Se procede a definir las temperaturas conocidas:

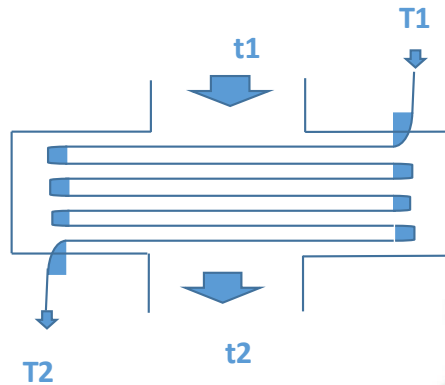


Figura 4-14: Esquema de IC

Fuente: Elaboración Propia con ayuda de Simulation CFD

Tabla 4-13: Temperaturas conocidas

Punto	Valor (K)
T1	80.0
T2	80.0
t1	294.0
t2	237.0

Fuente: Elaboración Propia

La diferencia media logarítmica de temperatura es:

$$\Delta T_{ml} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} = \frac{(294K - 80K) - (237K - 80K)}{\ln\left(\frac{294K - 80K}{237K - 80K}\right)}$$

$$\Delta T_{ml} = 184 \text{ K}$$

Para hallar el factor de corrección por ser un intercambiador de calor de flujo cruzado se calculan los factores P y R :

$$P = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1} = \frac{237 \text{ K} - 294 \text{ K}}{80 \text{ K} - 294 \text{ K}} = 0.266$$

$$R = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1} = \frac{80 \text{ K} - 80 \text{ K}}{264.4 \text{ K} - 294 \text{ K}} = 0$$

De la figura 2-29, se saca que el factor de corrección F es 1.0, por lo que el calor transferido se calcula a través de:

$$\begin{aligned}\dot{Q} &= U_i A_i A T_{ml} = 88.926 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ K}} \cdot \left(\pi \cdot \frac{11.43}{1000} \text{ m} \cdot 5 \text{ m} \right) \cdot 184 \text{ K} \\ \dot{Q} &= 2936.7 \text{ W}\end{aligned}$$

Este valor representa el 90.3% del valor del calor que requiere el nitrógeno para evaporarse, pero aún hace falta calcular el calor transferido en el serpentín que se ubica afuera del intercambiador, como son los codos de 180°.

Para el cálculo del calor transferido por el serpentín afuera del evaporador, se utilizará el mismo coeficiente de convección interno y se hallará un nuevo coeficiente externo para una velocidad de aire mínima.

Coeficiente de convección interna:

$$h_i = 91.91 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ K}}$$

Cálculo del coeficiente de convección externo:

$$\begin{aligned}Re &= \frac{V_{aire} D_e}{\nu} \\ Re &= \frac{1 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \frac{12.7}{1000} \text{ m}}{1.5156 - 5 \frac{\text{m}^2}{\text{s}}} \\ Re &= 837.9\end{aligned}$$

A continuación se halla la relación de áreas:

$$\frac{A_e}{A_{td}} = 1$$

Se calcula el factor Jota:

$$j_4 = 0.0014 + 0.2618 Re_D^{-0.4} \left(\frac{A_e}{A_{td}} \right)^{-0.15}$$

$$j_4 = 0.0014 + 0.2618 \cdot 837.9^{-0.4} \cdot 1^{-0.15}$$

$$j_4 = 0.01913$$

Se procede a hallar el número de Stanton:

$$St = \frac{j}{Pr^{2/3}} = \frac{0.01913}{0.7309^{2/3}}$$

$$St = 0.02358$$

Finalmente se halla el coeficiente de transferencia de calor externo_

$$h_o = St \rho V_{aire} c_{pm}$$

$$h_o = 0.02358 \cdot 1.204 \frac{kg}{m^3} \cdot 1 \frac{m}{s} \cdot 1025 \frac{J}{kg K}$$

$$h_o = 29.10 \frac{W}{m^2 K}$$

Se procede a calcular las resistencias térmicas asociadas al proceso de convección interna, convección externa y conducción a través de una pared sólida (tubo).

Primero se halla la longitud del tubo que se encuentra afuera del evaporador:

Tabla 4-14: Longitudes del tubo fuera del evaporador

Accesorio	Longitud (mm)	Cantidad	Total(mm)
Codo 180°	59.84	19	1137
Codo 90°	29.92	2	60
Tramo recto	150	1	150
Total (mm)			1347

Fuente: Elaboración Propia

La resistencia interna se calcula a partir de:

$$R_i = \frac{1}{h_i A_i} = \frac{1}{5414.88 \frac{W}{m^2 K} \cdot \pi \cdot \frac{11.43}{1000} m \cdot 1.347 m}$$

$$R_i = 0.00382 \frac{K}{W}$$

La resistencia de la pared del tubo:

$$R_{pared} = \frac{\ln\left(\frac{D_o}{D_i}\right)}{2\pi k L} = \frac{\ln\left(\frac{12.7}{11.43}\right)}{2\pi \cdot 482 \frac{W}{m K} \cdot 1.347 m}$$

$$R_{pared} = 0.00003 \frac{K}{W}$$

La resistencia térmica externa:

$$R_o = \frac{1}{h_o A_o} = \frac{1}{29.10 \frac{W}{m^2 K} \cdot \pi \cdot \frac{12.7}{1000} m \cdot 1.347 m}$$

$$R_o = 0.6394 \frac{K}{W}$$

Resistencia por incrustación en lado externo.

De la tabla 2-5 se tiene como factor de incrustación para aire $0.0004 \text{ m}^2 \text{ K/W}$.

$$R_{fo} = \frac{R_{f,o}}{A_o} = \frac{0.0004 \frac{\text{m}^2 \text{ K}}{\text{W}}}{\pi \cdot \frac{12.7}{1000} \text{ m} \cdot 1.347 \text{ m}}$$

$$R_{fo} = 0.00744 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

La resistencia total suma:

$$R_{total} = R_i + R_{pared} + R_o + R_{fo}$$

$$R_{total} = 0.00382 \frac{\text{K}}{\text{W}} + 0.00003 \frac{\text{K}}{\text{W}} + 0.6394 \frac{\text{K}}{\text{W}} + 0.00744 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{total} = 0.65069 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

Se toma el coeficiente de transferencia de calor total:

$$U_i = \frac{1}{R_{total} A_i} = \frac{1}{0.65069 \frac{\text{K}}{\text{W}} \cdot \pi \cdot \frac{11.43}{1000} \text{ m} \cdot 1.347 \text{ m}}$$

$$U_i = 31.77 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ K}}$$

La razón de transferencia de calor en los tubos que no se ubican dentro del evaporador es:

$$\dot{Q} = U_i A_i \Delta T$$

$$\dot{Q} = 31.77 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ K}} \cdot \pi \cdot \frac{11.43}{1000} \text{ m} \cdot 1.347 \text{ m} \cdot (294 \text{ K} - 80 \text{ K})$$

$$\dot{Q} = 328.8 \text{ W}$$

Sumando el calor calculado al calor transferido dentro del evaporador da un valor de 3265.5 W que es mayor al calor necesario para evaporar 1 kg/min de

nitrógeno (3251.5 W) por lo que queda asegurado que solo nitrógeno evaporado llegará a la cámara donde se ubicará el usuario.

4.1.1.5.CÁLCULO DE LA CAIDA DE PRESIÓN EN EL SERPENTÍN

Primero se calcula la caída de presión por fricción, se definen los datos de entrada:

Tabla 4-15: Datos de entrada para cálculo de caída de presión

Dato	Símbolo	Valor	Unidad
Longitud sección sin calentar:	L _{sc}	1.197	m
Longitud sección a calentar:	L _{cc}	5	m
Entalpía de la fase líquida:	h' _{ls}	-115.926	kJ/kg
Entalpía a la entrada:	h'	-115.926	kJ/kg
Variación media de entalpía fluido:	Δh _{el}	195.089	kJ/kg
Longitud total del tubo:	L _o	6.197	m
Densidad de Nitrógeno líquido	ρ _{ls}	795	kg/m ³
Densidad de Nitrógeno vaporizado	ρ _{vs}	6	kg/m ³
Viscosidad Cinemática	ν _{ls}	1.905E-7	m ² /s

Fuente: Elaboración Propia

Longitud de la sección del evaporador es:

$$L_{ec} = L_{sc} + L_{cc} \frac{h'_{ls} - h'}{\Delta h_{el}} = 1.197m + 5m \cdot \left(\frac{-115.926 \frac{kJ}{kg} - (-115.926 \frac{kJ}{kg})}{195.089 \frac{kJ}{kg}} \right)$$

$$L_{ec} = 1.197m$$

$$L_{ev} = L_o - L_{ec} = 6.197m - 1.197m$$

$$L_{ev} = 5m$$

Velocidad del nitrógeno a la entrada:

$$V_{el,N_2} = \frac{\dot{m}}{\rho A} = \frac{1 \frac{kg}{min} \cdot 1 \frac{min}{60s}}{795 \frac{kg}{m^3} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{11.43}{1000} m\right)^2}$$

$$V_{el,N_2} = 0.204 \frac{m}{s}$$

Número de Reynolds

$$Re_l = \frac{V_{el,N_2} D_i}{\nu_l} = \frac{0.204 \frac{m}{s} \cdot \frac{11.43}{1000} m}{1.905E-07}$$

$$Re_l = 12262.9$$

Para hallar el coeficiente de fricción en el serpentín, se necesita la rugosidad del cobre:

Tabla 4-16: Coeficiente de Fricción

Rugosidad Abs. (ϵ)	Relación D/ϵ	Coeficiente de fricción(f_{fr}) ³⁵
5E-05	228.6	0.0335

Fuente: Elaboración Propia

Velocidad del flujo másico

$$(u\rho)_f = \frac{\dot{m}}{At} = \frac{1 \frac{kg}{min} \cdot 1 \frac{min}{60s}}{\frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{11.43}{1000} m\right)^2} = 162.51 \frac{kg}{m^2s}$$

³⁵ El coeficiente de fricción se halla del diagrama del Anexo 5.

Posteriormente, se hallan los factores Ψ'_{bf} y Ψ''_{bf} con el cuadro mostrado en la figura 2-26:

Tabla 4-17: Factores Ψ

Ψ'_{bf}	1.5
Ψ''_{bf}	1.5

Fuente: Elaboración Propia

$$\bar{\Psi}_{bf} = \frac{\Psi''_{bf} x'' - \Psi'_{bf} x'}{x'' - x'}$$

$$\bar{\Psi}_{bf} = \frac{1.5 \cdot 1 - 1.5 \cdot 0}{1 - 0} = 1.5$$

Contenido de vapor en zona de inicio de evaporación:

$$\bar{x} = \frac{h_{vs} - h_{ls}}{2h_{fg}} = \frac{79.163 \frac{kJ}{kg} - (-115.926 \frac{kJ}{kg})}{2 \cdot 195.089 \frac{kJ}{kg}} = 0.5$$

Finalmente hallamos la caída de presión debido a la fricción:

$$\Delta P_{fr} = f_{fr} \frac{L_{ev}}{d_{int}} \frac{(u\rho)^2_f}{2\rho_{ls}} \left[1 + \bar{\Psi}_{bf} \bar{x} \left(\frac{\rho_{ls}}{\rho_{vs}} - 1 \right) \right]$$

$$\Delta P_{fr} = 0.0335 \cdot \frac{5m}{0.01143m} \frac{162.51 \frac{kg}{m^2 s}}{2 \cdot 795 \frac{kg}{m^3}} \left[1 + 1.5 \cdot 0.5 \left(\frac{795 \frac{kg}{m^3}}{6 \frac{kg}{m^3}} - 1 \right) \right]$$

$$\Delta P_{fr} = 24250 Pa$$

A continuación se procede a calcular la caída de presión debido a pérdidas locales, para lo que se necesita la sumatoria de coeficientes relativos de pérdidas locales:

El coeficiente relativo de pérdidas de entrada, ζ'_{ent} , se considera 0 ya que no se usa cabezales distribuidores en el presente proyecto.

El coeficiente relativo de pérdidas de salida, ζ'_{sal} , se toma como 1.2 por recomendación³⁶.

El coeficiente relativo debido a pérdidas en cambios de dirección de flujo, ζ'_{cd} , se halla con ayuda de la tabla 2-5:

Tabla 4-18: Coeficiente de pérdidas por cambio de dirección

Accesorio	Cantidad	Coeficiente de perdidas ³⁷	Total
Codo 90°	2	0.32	0.64
Codo 180°	19	0.44	8.36
Total			9.00

Fuente: Elaboración Propia

Finalmente se halla la caída de presión debida a pérdidas locales:

$$\Delta P_{loc} = \sum \zeta'_{loc} \frac{(u\rho)^2_f}{2\rho'_{ls}} \left[1 + \bar{x} \left(\frac{\rho'_{ls}}{\rho''_{ls}} - 1 \right) \right]$$

$$\Delta P_{loc} = 9.00 \cdot \frac{\left(162.51 \frac{kg}{m^2 s} \right)^2}{2 \cdot 795 \frac{kg}{m^3}} \left[1 + 0.5 \left(\frac{795 \frac{kg}{m^3}}{6 \frac{kg}{m^3}} - 1 \right) \right]$$

$$\Delta P_{loc} = 11309 Pa$$

³⁶ Yevgen Pysmennyy recomienda este valor en el manual para cálculos de intercambiadores de calor, para más información [18].

³⁷ Para hallar el coeficiente se requiere el radio de curvatura, que se coma como 19mm.

Se suman ambas caídas de presión, y se obtiene la caída de presión total:

$$\Delta P_{total} = \Delta P_{fricción} + \Delta P_{loc} = 24.25 kPa + 11.309 kPa$$

$$\Delta P_{total} = 35.56 kPa$$

Como se observa la caída de presión no es muy alta, comparada a la presión de saturación en que se encuentra el nitrógeno, 137kPa, por lo que se sigue considerando la presión de entrada igual a la presión de salida del evaporador, así mismo se observa que no habrá problemas en transportar el fluido a través del evaporador.

4.1.1.6. CÁLCULO DE LA CAÍDA DE PRESIÓN DE AIRE EN EVAPORADOR

La caída de presión en el lado del aire del intercambiador de calor permite seleccionar un ventilador que cumpla con dicha caída de presión.

Primero se halla el coeficiente de fricción f , que de la figura 2-23, para Re_D igual a 4659 y P_L ³⁸ igual a 3.34, sale 0.15.

El factor de corrección X es 1 debido a que el banco de tubos es alineado.

Finalmente la caída de presión queda como sigue:

$$AP = N_L f X \frac{\rho V_{max}^2}{2}$$

$$AP = 5 \cdot 0.15 \cdot 1 \cdot \frac{1.3141 \frac{kg}{m^3} \cdot \left(5.5 \frac{m}{s}\right)^2}{2} \left(\frac{1N}{1 kg \cdot \frac{m}{s}}\right)$$

$$AP = 14.91 Pa$$

³⁸ P_L es la relación de la distancia entre tubos (S_L) y el diámetro externo (D_e).

4.1.2. DISEÑO DE DUCTOS DE ENTRADA Y DESCARGA DE AIRE

El diseño de los ductos de aire depende principalmente del ventilador que se usa para transportar el aire, por lo que se empieza el diseño proponiendo un tipo de ventilador.

El ventilador que se propone como dato de entrada es el definido en la tabla 4-6, en este punto se verifica su factibilidad.

Para poder realizar la curva del sistema es necesario tener definidas las dimensiones por donde se desplazará el aire, desde la entrada hasta su descarga, por lo que se analiza el comportamiento del aire simulándolo en Simulation CFD.

Primero se proponen las medidas y se diseña la entrada del aire con ayuda de Autodesk Inventor, ver la siguiente figura³⁹:

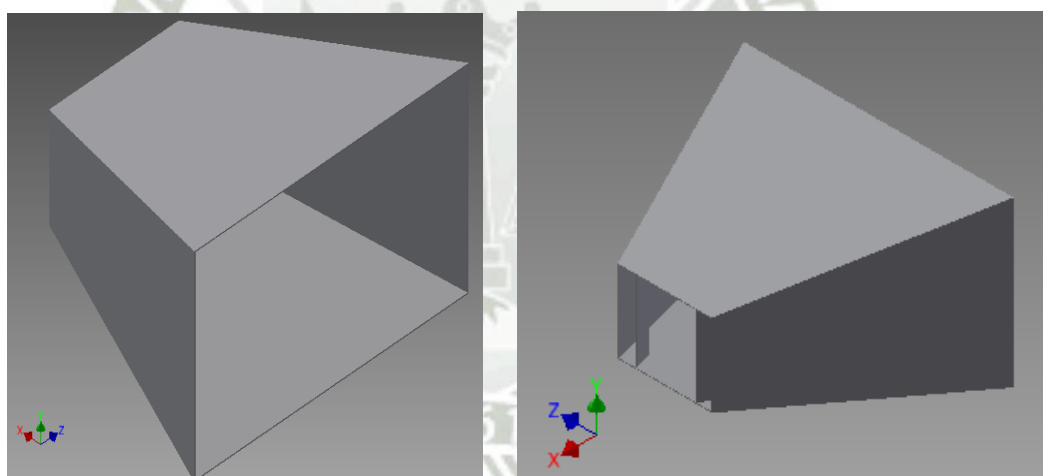


Figura 4-15: Vistas isométricas de la zona de entrada de aire

Fuente: Elaboración Propia con ayuda de Inventor Professional

³⁹ Se puede observar que el ducto diseñado, tiene dos pequeñas aletas, las cuales tienen el fin de corregir la dirección del fluido.

Luego se exporta la pieza a Simulation CFD⁴⁰, para lo cual se necesita la velocidad de entrada del aire, pero se debe tener en cuenta que el caudal de aire asumido en el intercambiador de calor no es el mismo que el caudal que suministra el ventilador, ya que la densidad no es constante, por lo que se calcula primero el flujo de aire a la entrada:

$$\dot{V} = \frac{\dot{m}}{\rho}$$

$$\dot{V} = \frac{0.1278 \frac{kg}{s}}{1.201 \frac{kg}{m^3}}$$

$$\dot{V} = 383 \frac{m^3}{s}$$

A continuación se halla la velocidad del aire que suministra el ventilador:

$$\dot{V} = V_{aire} A_{entrada} = V_{aire} b h$$

$$V_{aire} = \frac{383 \frac{m^3}{hr} \frac{1hr}{3600s}}{0.086m \cdot 0.075m}$$

$$V_{aire} = 16.49 \frac{m}{s}$$

⁴⁰ Los parámetros de entrada para la simulación son: La velocidad y temperatura del aire.

Con este valor y la temperatura de 21°C se simula el flujo del aire, y se crean dos planos para estudiar el comportamiento vertical y horizontal:

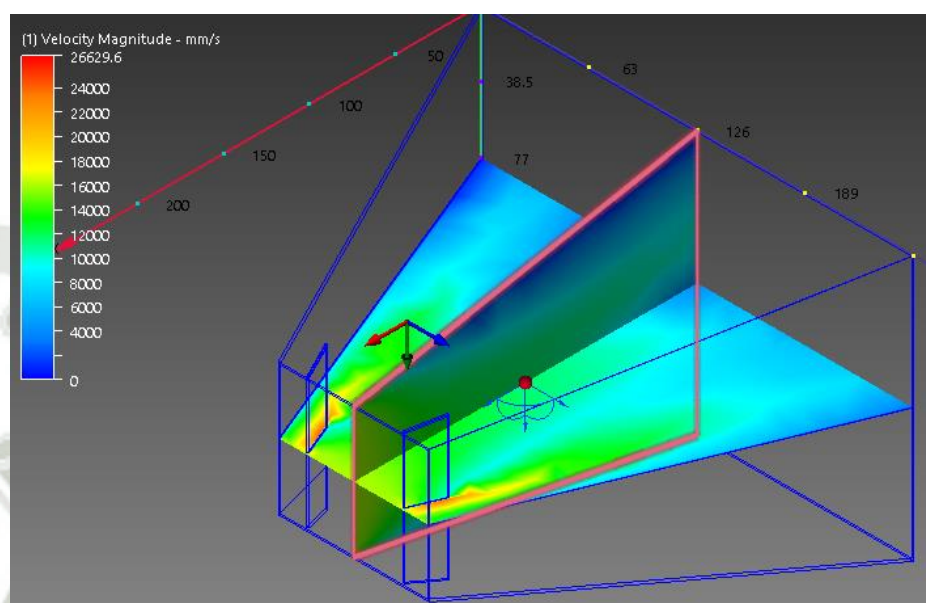


Figura 4-16: Vista de los dos planos donde se verificará el comportamiento del aire

Fuente: Elaboración Propia con ayuda de Simulation CFD

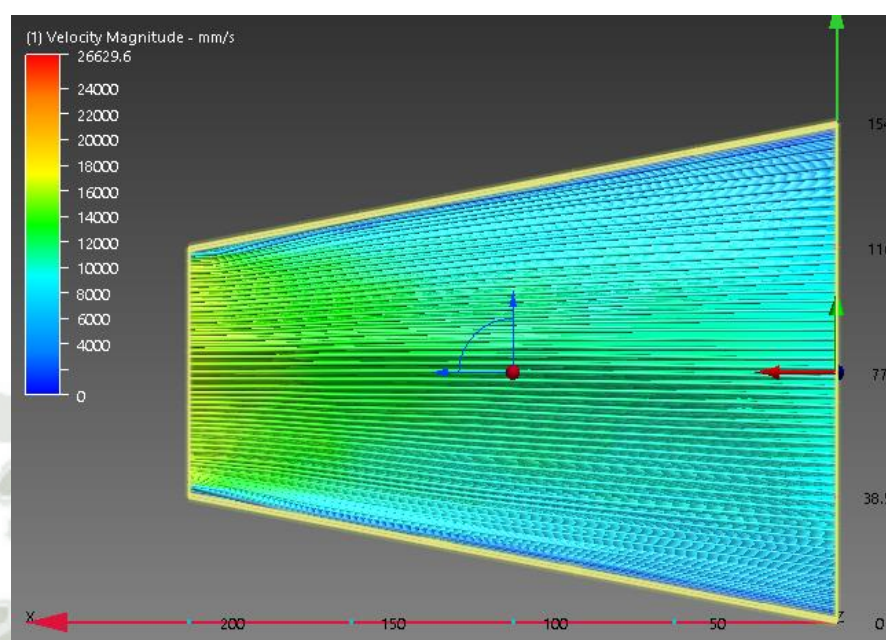


Figura 4-18: Vista de perfil del comportamiento del aire

Fuente: Elaboración Propia con ayuda de Simulation CFD

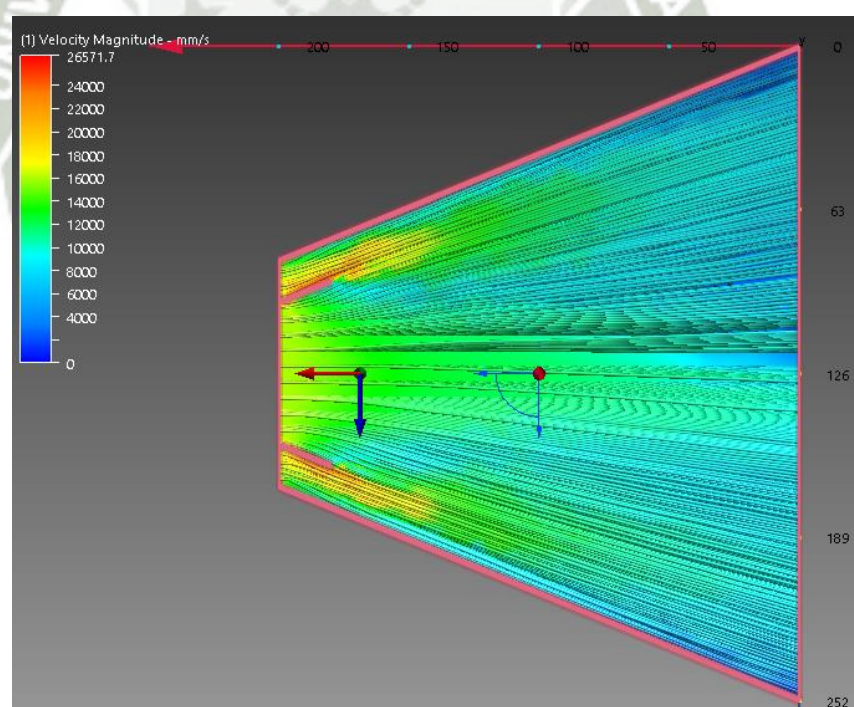


Figura 4-17: Vista de planta del comportamiento del aire

Fuente: Elaboración Propia con ayuda de Simulation CFD

Se puede observar que en la vista de perfil, la velocidad del aire a la salida de la ampliación, no es uniforme, pero al ser una variación mínima y por cuestiones de espacio⁴¹, se tomará este comportamiento como aceptable y se continuará con los cálculos.

En la vista de planta el flujo se ve laminar, por lo que se considera que las aletas son adecuadas.

A continuación se diseñará en Inventor el ducto de salida del aire, para poder analizar su comportamiento:

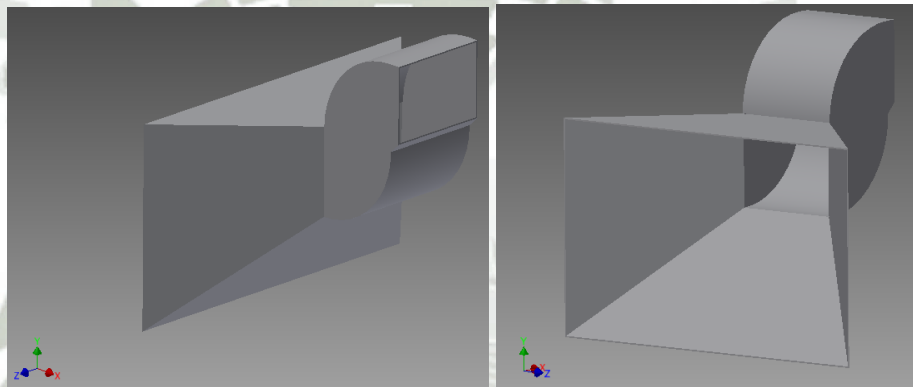


Figura 4-19: Vistas isométrica de la salida de aire del IC

Fuente: Elaboración Propia con ayuda de Inventor Professional

A continuación se simula el comportamiento del aire dentro de esta zona de descarga, creando un plano de perfil se puede apreciar el comportamiento del flujo de aire:

⁴¹ Se menciona el espacio debido a que la solución al problema de no uniformidad podría solucionarse aumentando la longitud de la ampliación, que es lo que se quiere evitar.

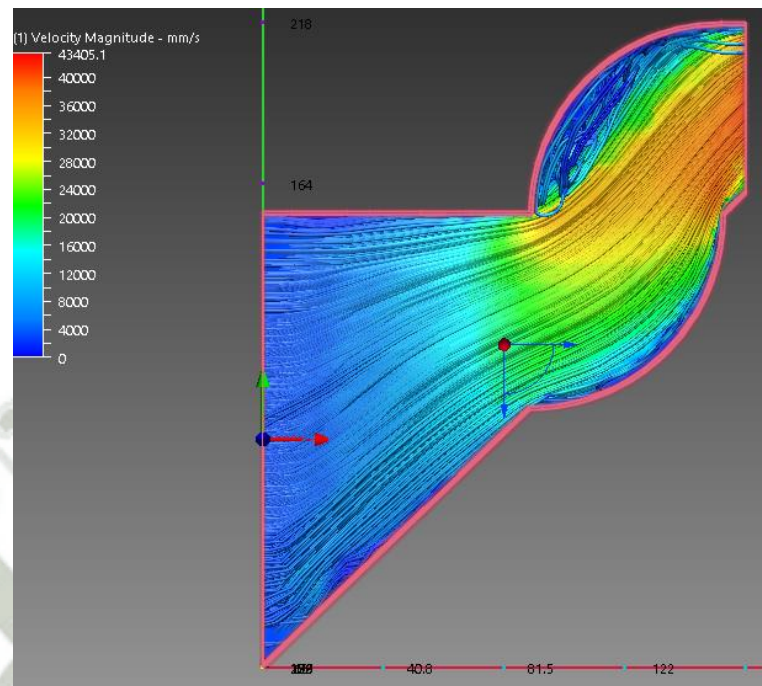


Figura 4-20: Vista de perfil del flujo de aire en la salida del aire hacia la cámara

Se puede observar que el comportamiento en su mayoría es laminar, excepto en la zona superior izquierda de la figura 4-20, donde la velocidad del aire es bastante baja, por lo que se ve incluso recirculación, pero dicha zona de baja velocidad se considera despreciable.

Contando con las dimensiones definidas⁴², ahora se procede con la curva del sistema (Para la selección del ventilador), usando la ecuación de Bernoulli para ventiladores:

$$H_v = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + Z_2 - Z_1 + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} + \left(\frac{fL}{D_e} + \Sigma k + f \Sigma \frac{L_{eq}}{D_e} \right) \frac{8Q^2}{\pi^2 D^4 g}$$

El análisis de Bernoulli se hará desde el ventilador hasta aguas abajo del evaporador, ver el siguiente isométrico:

⁴² Para verificar las dimensiones exactas ver planos.

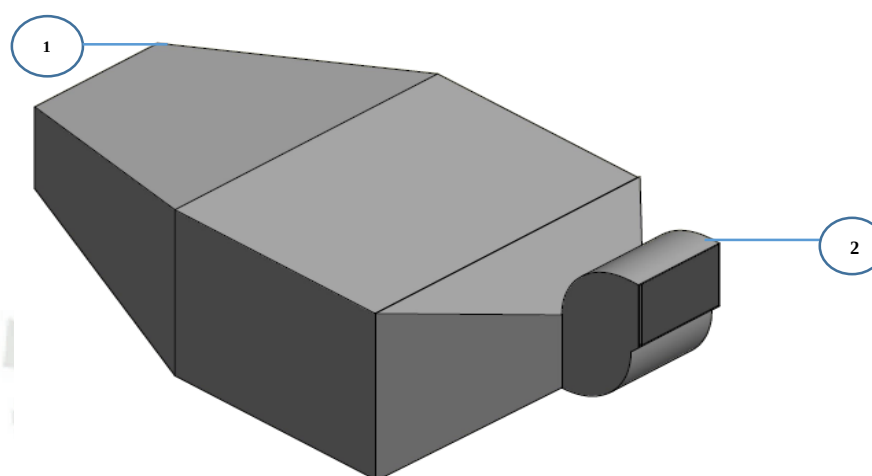


Figura 4-21: Isométrico Evaporador y ductos

Fuente: Elaboración Propia con ayuda de Inventor Professional

Diámetro hidráulico⁴³:

$$D_H = \frac{4ab}{2(a + b)}$$

Tabla 4-19: Dimensiones de generador de vapor

Zona	Diámetro Hidráulico (mm)	Longitud (mm)
Entrada	189.4	200
Evaporador	189.4	190.5
Salida	69.64	N/A

Fuente: Elaboración Propia

⁴³ La fórmula de diámetro hidráulico mostrada es para ductos rectangulares.

Longitudes equivalentes en reducciones y cambio de sentido (ver anexo 19),

Tabla 4-20: Longitud Equivalente

Zona	Accesorios	Longitud Eq. (m)	Leq/D
Entrada	1 Reducción	3.5	18.45
Salida	1 Reducción	1.2	17.23
	2 Codo 90°	0.8	22.97
		Total	58.65

Fuente: Elaboración Propia

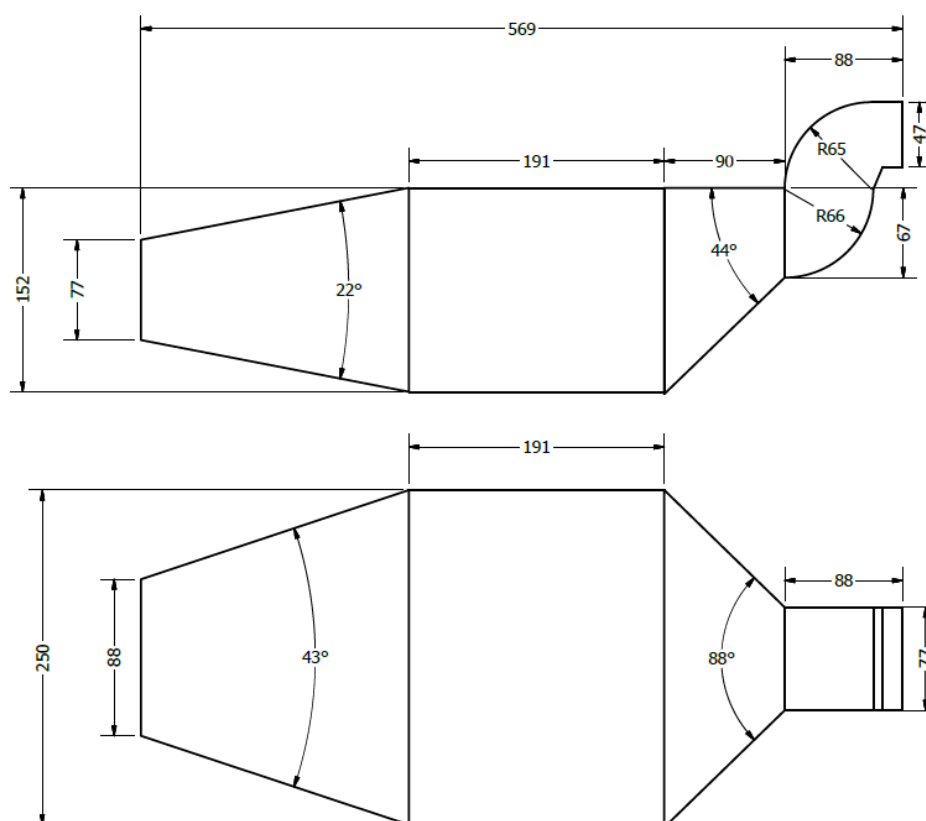


Figura 4-22: Dimensiones aproximadas del circuito del aire

Fuente: Elaboración Propia con ayuda de Inventor Professional

Se calcula la velocidad en el punto 2 mediante la ley de gases ideales:

$$p\dot{V} = RT_{aire}\dot{m}$$

$$V_{aire}A_{transversal} = \frac{RT_{aire}\dot{m}}{p} = \frac{0.287 \frac{kJ}{kg \cdot K} \cdot (-36 + 273)K \cdot 0.1278 \frac{kg}{s}}{101.325 kpa}$$

$$V_{aire}A_{transversal} = 0.08579 \frac{m^3}{s}$$

Se considera un área transversal del ducto a la descarga de 45mm x 75 mm

$$V_{aire salida} = \frac{0.08579 \frac{m^3}{s}}{0.054m \times 0.075m}$$

$$V_{aire salida} = 25.41 \frac{m}{s}$$

El caudal de aire a la entrada del sistema es:

$$\dot{V}_{aire entrada} = \frac{\dot{m}}{\rho_{aire entrada}}$$

$$\dot{V}_{aire entrada} = \frac{0.1278 \frac{kg}{s}}{1.201 \frac{kg}{m^3}}$$

$$\dot{V}_{aire entrada} = 0.106 \frac{m^3}{s}$$

Finalmente se calcula la altura del ventilador en metros de columna de aire,

$$H_v = 0.11m + \frac{\left(25.41 \frac{m}{s}\right)^2 - \left(12.1 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \cdot 9.81 \frac{m}{s^2}} + \left(\frac{0.026 \cdot 0.1905m}{0.1559m} + 0.026 \cdot 58.65\right) \frac{8 \left(0.106 \frac{m^3}{s}\right)^2}{\pi^2 \cdot (0.1559m)^4 \cdot 9.81 \frac{m}{s^2}}$$

$$H_v = 21.61 m_{aire}$$

Se transforma dicha altura a metros de columna de agua:

$$H_{v,H_2O} = H_{v,aire} \frac{\rho_{aire}}{\rho_{H_2O}} = 21.61m \cdot \frac{1.2187 \frac{kg}{m^3}}{1000 \frac{kg}{m^3}}$$

$$H_{v,H_2O} = 31.34mmca$$

De la curva del ventilador (Anexo 16) se ve que el caudal supuesto al comienzo de 350 m³/hr se acerca bastante al extraído de la curva del ventilador que cae entre 340 y 360 m³/hr, por lo que se toma como óptimo el ventilador seleccionado

4.1.3. DISEÑO DE ZONA DE MEZCLA Y SUMINISTRO DE MEZCLA DE AIRE-N₂

En la zona de mezcla se considerará que el nitrógeno vaporizado descarga directamente en el ducto de descarga de aire, donde aprovechando la velocidad de ambos flujos, pasarán unas rejillas e ingresarán a la cámara del usuario (figura 4-23).

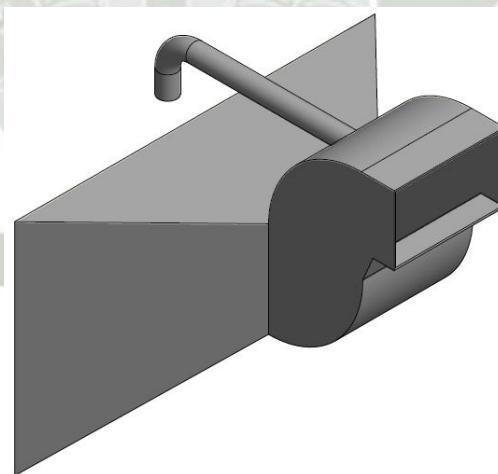


Figura 4-23: Vista isométrica de zona de mezcla de aire - N₂

Fuente: Elaboración Propia con ayuda de Inventor Professional

La zona de mezcla se diseña y simula de manera que la ubicación del tubo de descarga de nitrógeno sea en el medio del ducto, como se ve en la siguiente corte:

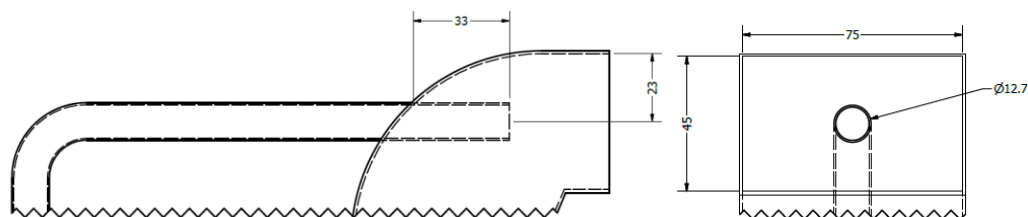


Figura 4-24: Vista frontal y perfil de zona de mezcla de aire - N_2

Fuente: Elaboración Propia con ayuda de Inventor Professional

A continuación se diseña las rejillas deflectoras de mezcla, la función de la rejilla es evitar que la mezcla ingrese directamente hacia el usuario, se simulan distintos ángulos para dichas rejillas, observando que un ángulo de desviación de 55° funciona sin problemas.

El diseño de la rejilla se muestra en la siguiente figura:

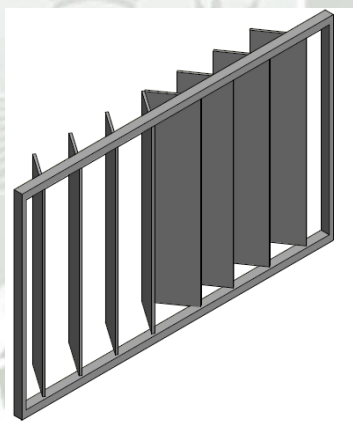


Figura 4-25: Vista isométrica de rejilla

Fuente: Elaboración Propia con ayuda de Inventor Professional

Las dimensiones aproximadas de la rejilla se muestran en la siguiente figura:

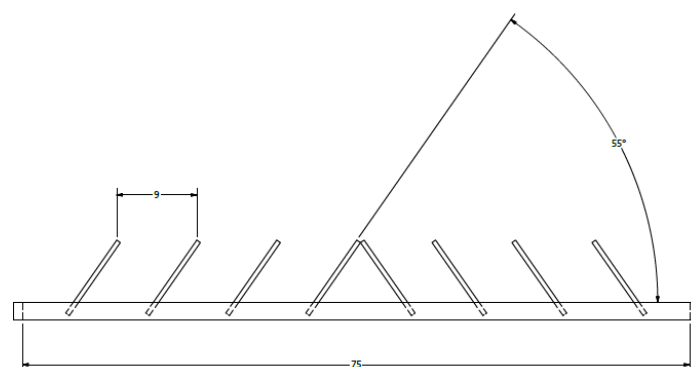


Figura 4-26: Vista superior de rejilla

Fuente: Elaboración Propia con ayuda de Inventor Professional

Para proceder con la simulación se añade una porción de la cámara donde se ubicaría el usuario, **cabe acotar que en la simulación se desea observar el comportamiento adecuado del flujo desde la zona de mezcla hasta la descarga, no es el fin de esta simulación observar cómo se comporta el flujo dentro de la cámara.**

Se diseña y se exporta el diseño a Simulation CFD (Figura 4-27)

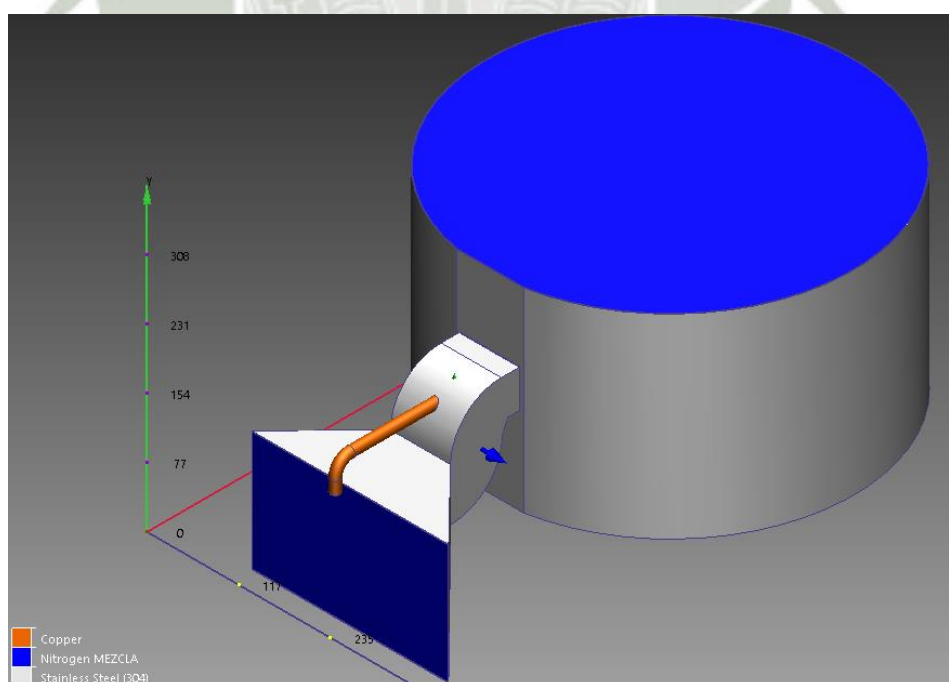


Figura 4-27: Diseño de zona de mezcla y suministro en Simulation CFD

Fuente: Elaboración Propia con ayuda de Simulation CFD

Se definen los datos de entrada para poder realizar la simulación:

Tabla 4-21: Datos de entrada para simulación

Zona	Flujo másico (kg/s)	Temperatura (°C)	Presión (Bar(g))
Entrada Nitrógeno	0.0167	-193	N/A
Entrada Aire frío	0.1278	-36	N/A
Zona superior de cámara	N/A	N/A	0

Fuente: Elaboración Propia

Se obtiene la simulación:

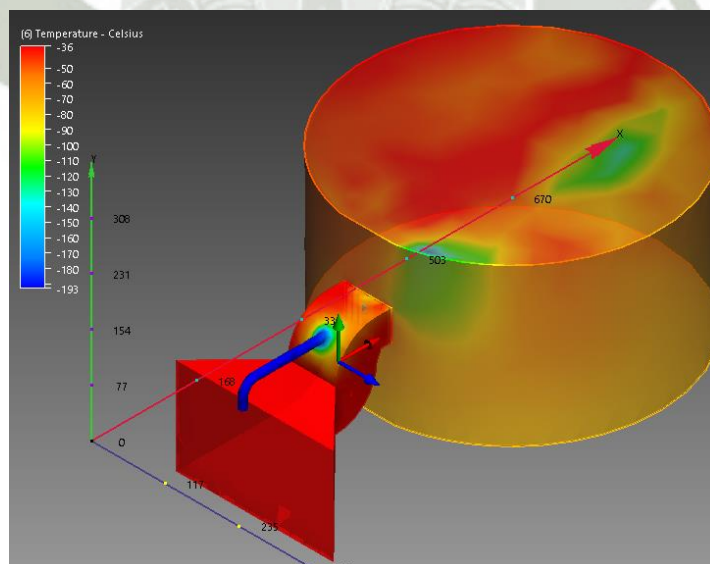


Figura 4-28: Simulación de zona de mezcla y suministro (Temperatura)

Fuente: Elaboración Propia con ayuda de Simulation CFD

Se crea un plano vertical en medio del sistema para observar el comportamiento de la mezcla y su temperatura:

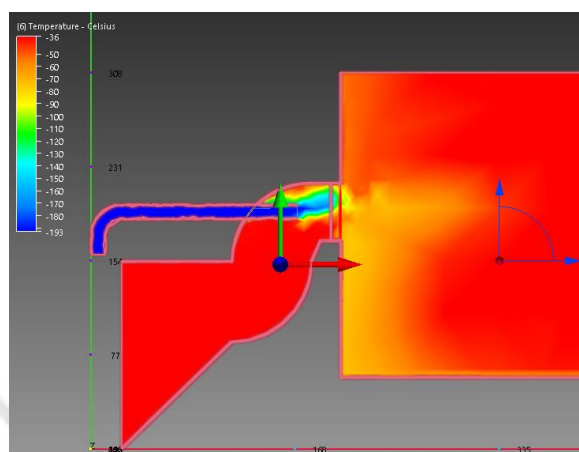


Figura 4-29: Plano XY de Temperatura

Fuente: Elaboración Propia con ayuda de Simulation CFD

De la misma manera se observa la magnitud de la velocidad:

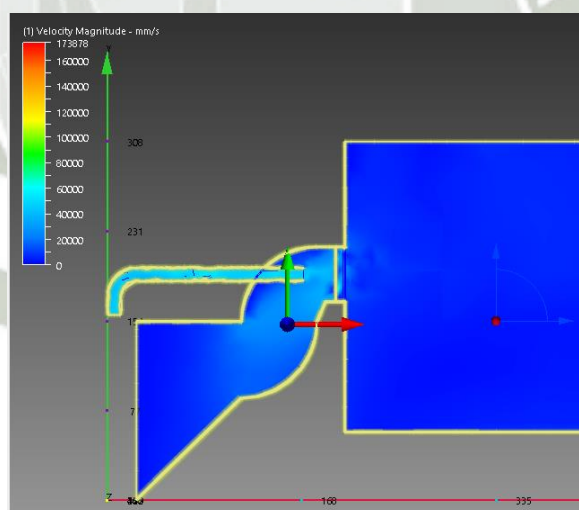


Figura 4-30: Plano XY de Velocidad de flujo

Fuente: Elaboración Propia con ayuda de Simulation CFD

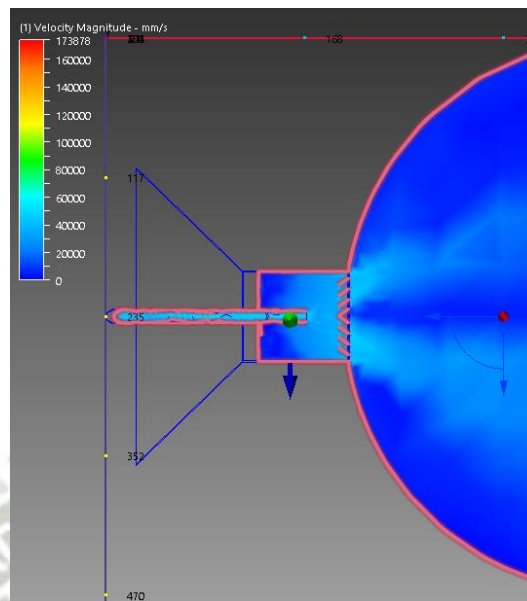


Figura 4-31: Plano XZ de velocidad de flujo

Fuente: Elaboración Propia con ayuda de Simulation CFD

A continuación se crean líneas de flujo, con las que se observa el comportamiento del flujo a través de la rejilla⁴⁴:

⁴⁴ De recuerda, que la simulación no busca estudiar el comportamiento de la mezcla dentro de la cámara, solo busca mostrar el comportamiento del flujo en la zona de mezcla de gases y en la zona de la rejilla.

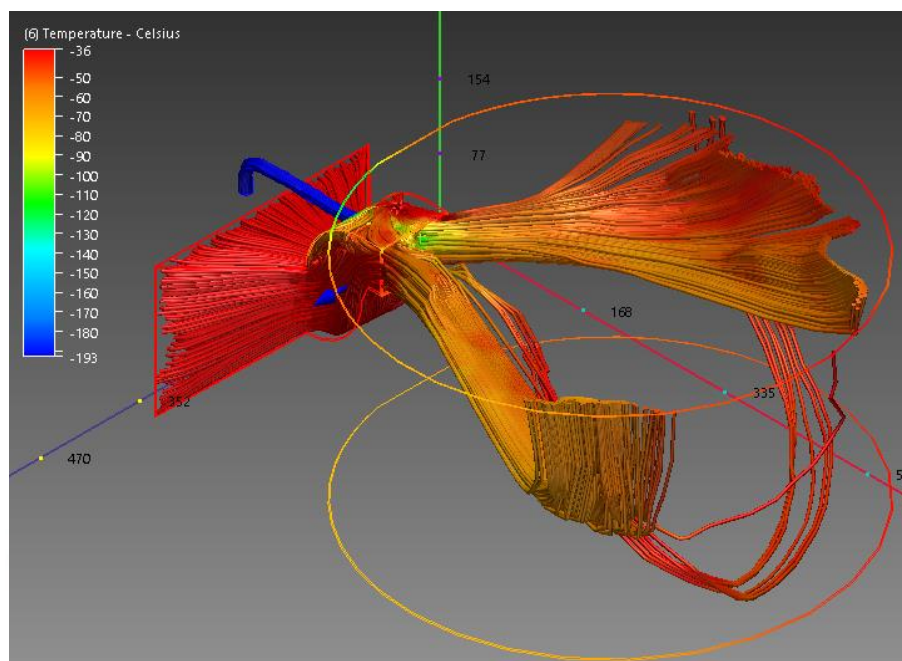


Figura 4-33: Vista isométrica del comportamiento del flujo a través de la rejilla

Fuente: Elaboración Propia con ayuda de Simulation CFD

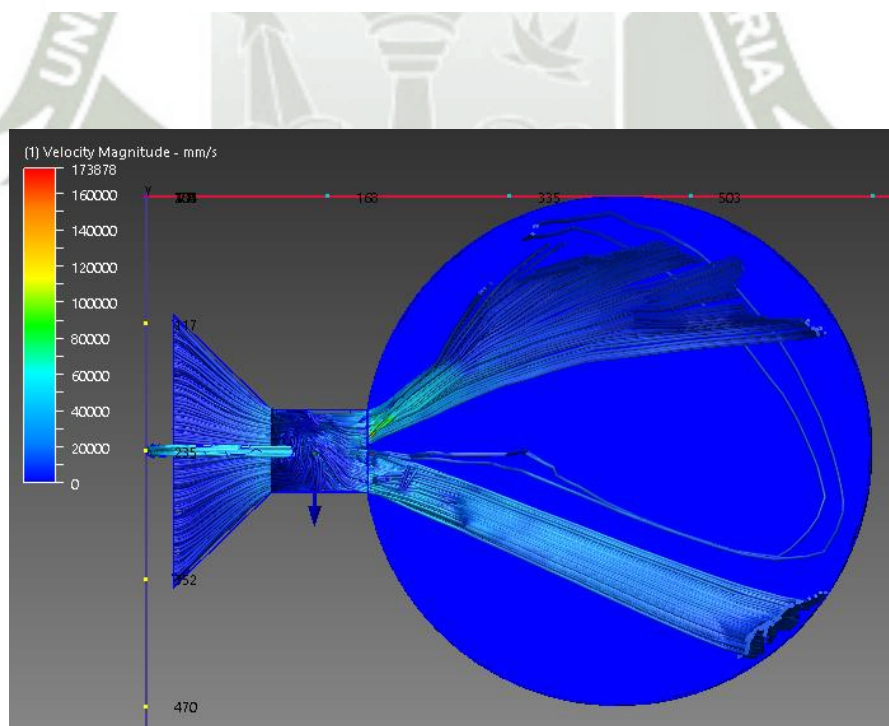


Figura 4-32: Plano XZ del comportamiento del flujo a través de la rejilla

Fuente: Elaboración Propia con ayuda de Simulation CFD

Se estudia también, si existe recirculación en la zona de mezcla debido a la rejilla, pues este fue el problema al momento de diseñar rejillas con ángulos muy cerrados, pero como se ve en la figura 4-34 donde se muestran los vectores de velocidad, no existe recirculación.

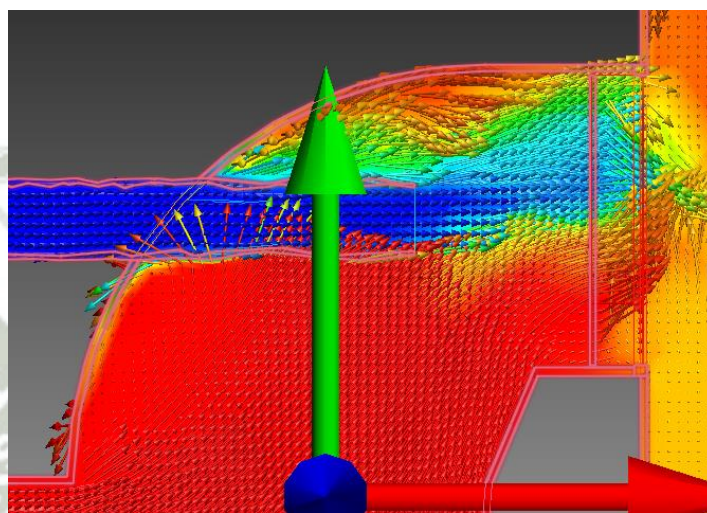


Figura 4-35: Detalle de la zona de mezcla, vectores de velocidad (Vista de perfil)

Fuente: Elaboración Propia con ayuda de Simulation CFD

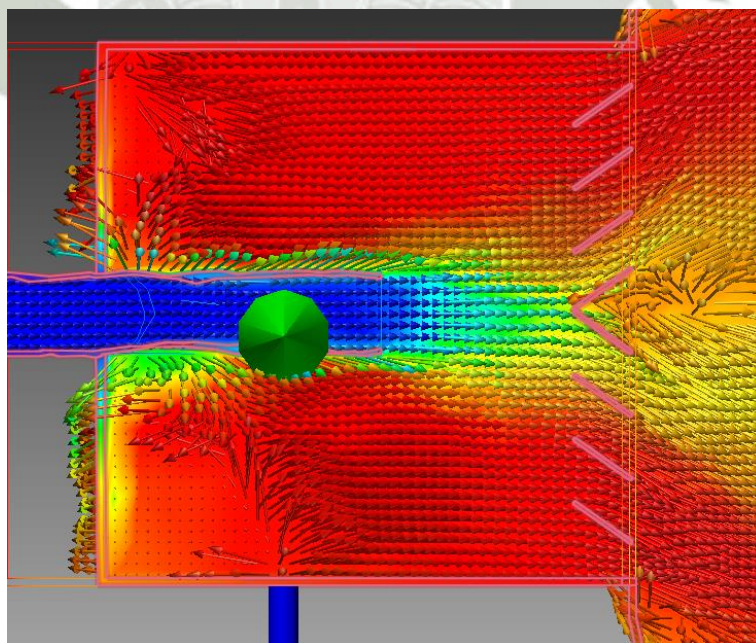


Figura 4-34: Detalle de zona de mezcla, vectores de velocidad (Vista de planta)

Fuente: Elaboración Propia con ayuda de Simulation CFD

4.1.4. DISEÑO DE AISLAMIENTO DEL INTERCAMBIADOR

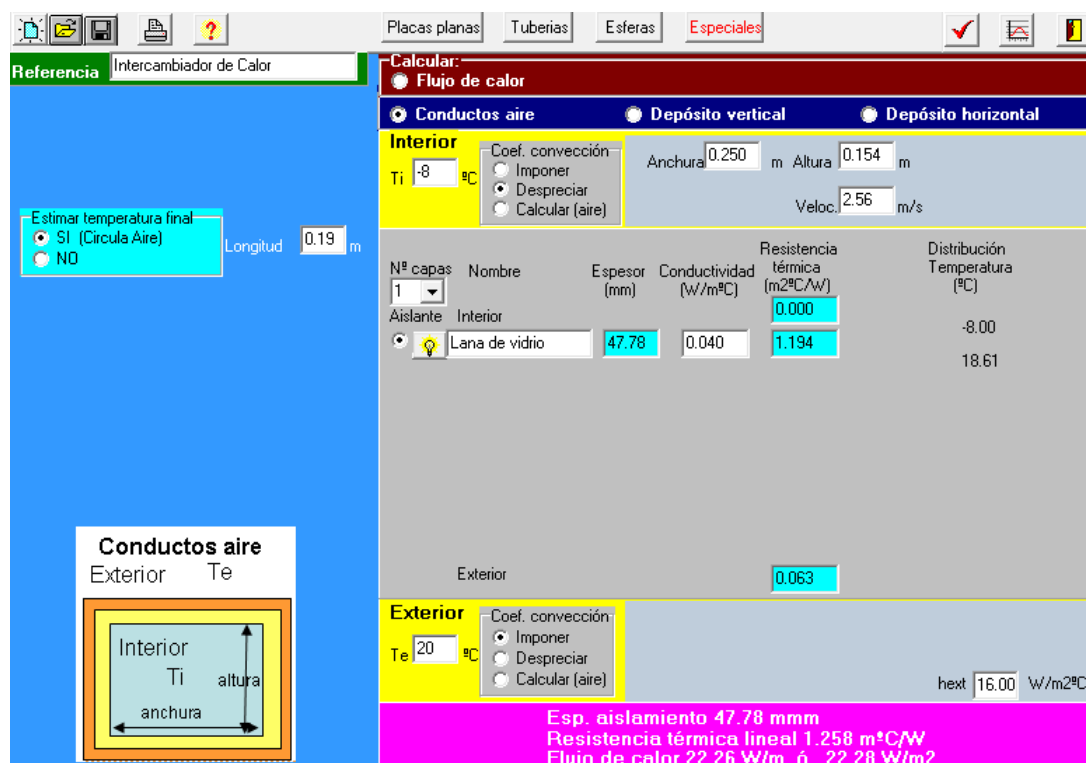
Se considera que a partir del intercambiador de calor se debe tener aislamiento, el cual se calcula con el software AISLAM, primero se definen los datos de entrada para el software:

Tabla 4-22: Datos de entrada para AISLAM

Aislante	Lana de vidrio
Conductividad Térmica ($\text{W/m}^\circ\text{C}$)	0.04
Alto IC (mm)	154
Ancho IC (mm)	250
Temperatura Interior ($^\circ\text{C}$)	$(-36+20)/2 = -8$
Temperatura Exterior ($^\circ\text{C}$)	20
Coefficiente de Convección Ext. ($\text{W/m}^2^\circ\text{C}$)	16

Fuente: Elaboración Propia

Se introducen los datos al software:



The screenshot shows the AISLAM software interface for calculating heat exchanger insulation thickness. The main window is titled "Referencia Intercambiador de Calor". The "Calcular:" section is active, showing "Flujo de calor" as the selected calculation type. The "Conductos aire" section is active, showing "Depósito vertical" as the selected calculation type. The "Interior" section is active, showing "Ti" as -8 °C, "Anchura" as 0.250 m, "Altura" as 0.154 m, and "Veloc." as 2.56 m/s. The "Exterior" section is active, showing "Te" as 20 °C and "hext" as 16.00 W/m²°C. The "Aislante" section shows "Lana de vidrio" with an "Espesor (mm)" of 47.78, "Conductividad (W/m°C)" of 0.040, and "Resistencia térmica (m²C/W)" of 1.194. The "Distribución Temperatura (°C)" section shows values of -8.00 and 18.61. The "Exterior" section shows a "Resistencia térmica" of 0.063. The bottom status bar displays the final results: "Esp. aislamiento 47.78 mm", "Resistencia térmica lineal 1.258 m²C/W", and "Flujo de calor 22.26 W/m ó 22.28 W/m²".

Figura 4-36: Cálculo del espesor de aislamiento para el intercambiador de calor

Fuente: Resultados extraídos de AISLAM

Se observa que el espesor resultante es 4.8cm⁴⁵, este espesor también se aplicará al ducto aguas abajo del intercambiador, hasta la llegada a la cámara del usuario

4.2.DISEÑO DE CÁMARA DEL USUARIO

La cámara del usuario debe cumplir las siguientes funciones:

- Cubrir el cuerpo del usuario, excepto su cabeza.

⁴⁵ Se debe tener en cuenta que esta medida indica el espesor mínimo, ya que el espesor comercial que se utilizará es de 50mm.

- Deberá tener cojines para mantener la cabeza del usuario fuera de la cámara.
- Debe ser lo más compacta posible, pero sin quitar comodidad al usuario, lo primero para ahorrar nitrógeno.
- Deberá tener una puerta, que no tenga ningún sistema de bloqueo.
- El material del interior debe ser resistente a las bajas temperaturas y a la vez cómodo al contacto con la piel.

4.2.1. BALANCE ENERGÉTICO DENTRO DE LA CÁMARA

Es necesario conocer el comportamiento del flujo de calor dentro de la cámara, pues como se definió en el capítulo 2, el cuerpo humano es una fuente de energía calorífica, y lo que se busca en este punto, es definir el calor que el cuerpo humano pierde durante la sesión.

Para proceder con los cálculos, primero debemos aclarar los tipos de transferencia de calor que se estudian:

Transferencia de calor por convección forzada.

Transferencia de calor por radiación desde la piel.

Serán estos tipos de transferencia de calor los que se consideran para el cálculo del calor perdido por el cuerpo durante una sesión.

Se sabe que la temperatura de la piel durante la sesión varía en función al tiempo, por lo que se usarán datos publicados por una marca de Ciosaunas⁴⁶, los cuales se muestran en la figura 4-37:

⁴⁶ Millennium Ice, para más información visitar: <http://www.lifeofmillennium.com/index.php>

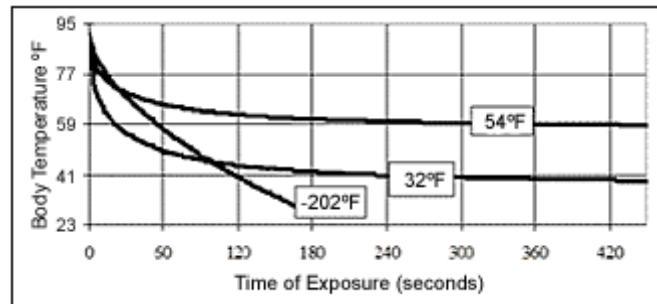


Figura 4-37: Comparación entre los efectos de Baños Hipotérmicos (54°F), Baños de Agua con Hielo (32°F) y una Cámara Criogénica (-202°F)

Fuente: Extraído de Página web de Millenium Ice

De la tabla anterior se extraerán los datos de la temperatura de la piel durante los 3 minutos que dura la sesión, para tabular el comportamiento de la transferencia de calor.

A continuación se define la ecuación que se usará en los siguientes cálculos:

$$\dot{Q}_{ext} = \dot{Q}_{conv} + \dot{Q}_{rad}$$

$$\dot{Q}_{ext} = h_c(T_{piel} - T_a) + \sigma \epsilon \left(\frac{A_r}{A_s} \right) (T_{piel}^4 - T_r^4)$$

Se definirán los valores de la ecuación que no varían con el tiempo y que por lo tanto son considerados constantes, primero la velocidad de la mezcla.

Se puede observar en la siguiente figura que la velocidad de la mezcla no es constante en la entrada de la mezcla hacia la cámara, por lo que se decide sacar una media que represente la velocidad.

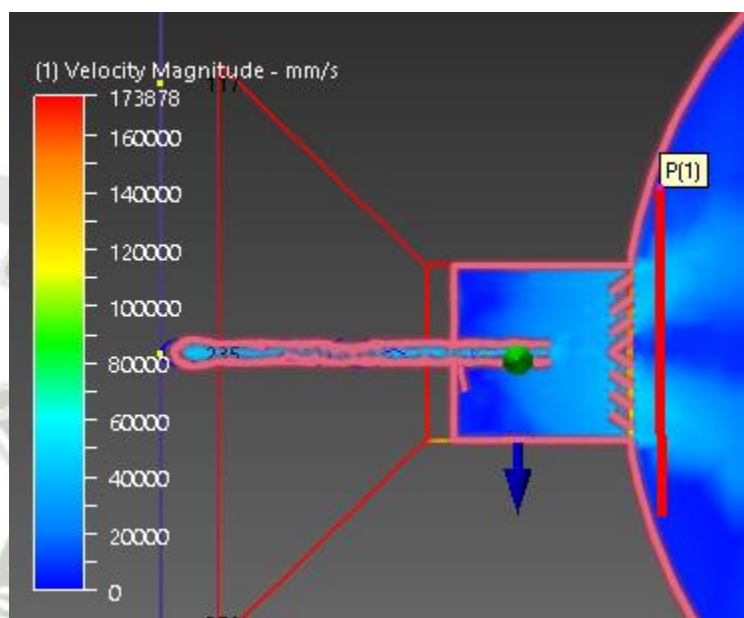


Figura 4-38: Toma de muestra de velocidades (Línea roja)

Fuente: Elaboración Propia con ayuda de Simulation CFD

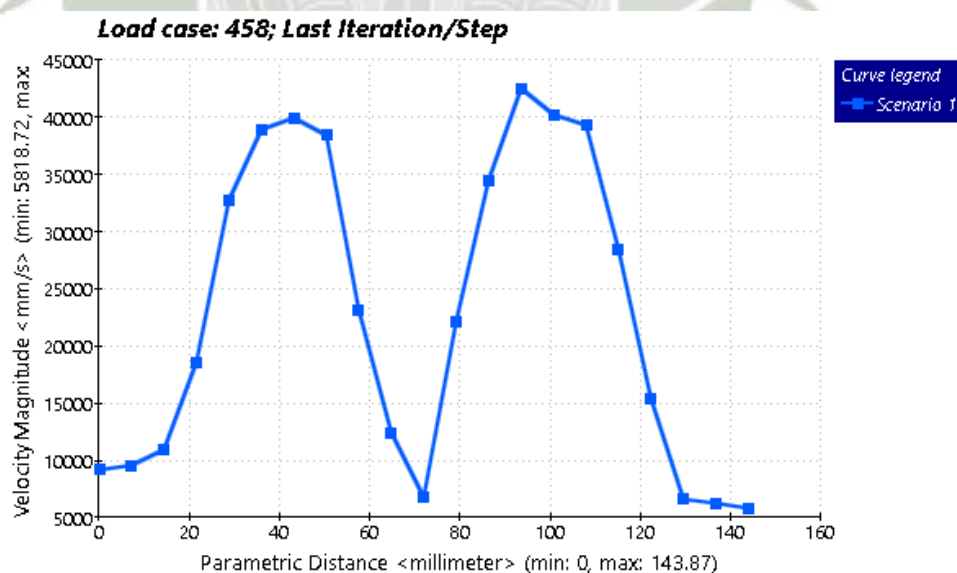


Figura 4-39: Distribución de velocidades a la entrada a la cámara

Fuente: Elaboración Propia con ayuda de Simulation CFD

Se observa que la velocidad de la mezcla en la entrada es bastante alta, lo que no se considera algo bueno, por lo que se decide colocar un accesorio (figura 4-40) que cumpla dos funciones: la primera que disminuya la velocidad de la mezcla y segundo, deberá cubrir la rejilla de la vista del usuario, pues no es estética.

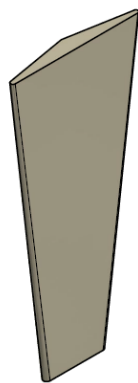


Figura 4-40: Accesorio para interior de cámara

Fuente: Elaboración Propia con ayuda de Inventor Professional

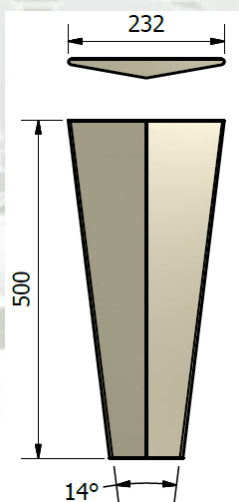


Figura 4-41: Medidas aproximadas de accesorio para reducir velocidad de mezcla

Fuente: Elaboración Propia con ayuda de Inventor Professional

Con este accesorio se conoce por cámaras existentes que la velocidad de la mezcla se reduce drásticamente, pero al no tener un valor exacto, observando videos se asume una velocidad media de la mezcla en el interior de la cámara de 1 m/s.

Se calcula el coeficiente de transferencia de calor por convección:

$$h_c = 14.8 V^{0.69} = 14.8 \cdot (1\text{m/s})^{0.69}$$

$$h_c = 14.8 \frac{W}{m^2 K}$$

A continuación se define la temperatura al interior de la cámara, pero ya que no hay forma de hacerlo con precisión con la simulación (figura 4-42) se utiliza la primera ley de la termodinámica para FEES.

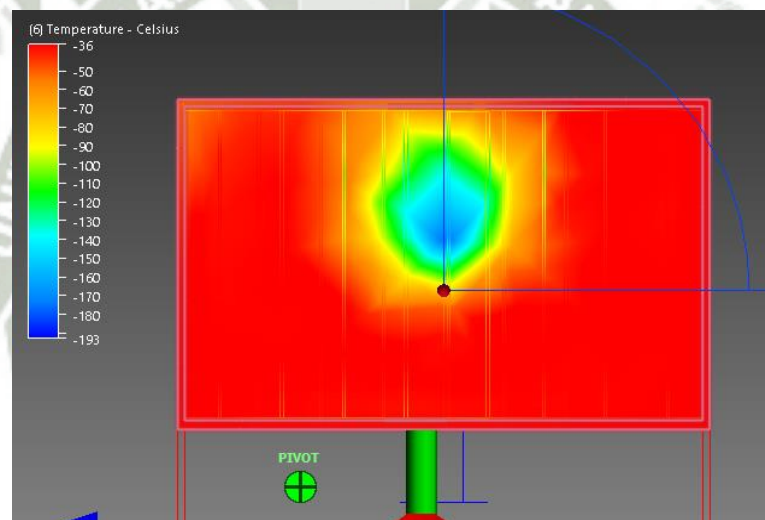


Figura 4-42: Vista de la distribución de temperaturas a la entrada de la cámara

Fuente: Elaboración Propia con ayuda de Simulation CFD

Se define el volumen de control:

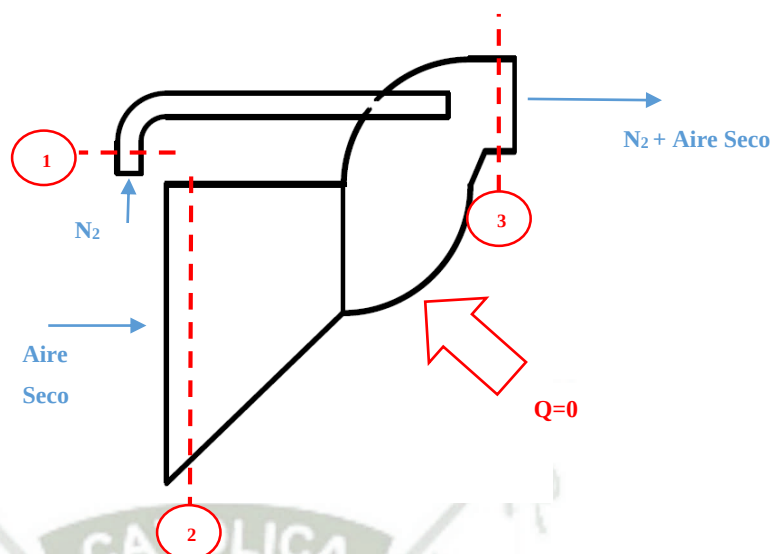


Figura 4-43: Volumen de control (Zona de mezcla de Aire- N_2) Se asume adiabático por el aislamiento

Fuente: Elaboración Propia

Se definen los datos conocidos en la siguiente tabla:

Tabla 4-23: Datos de los gases presentes en el volumen de control

Zona	Flujo	Temperatura (°C)	Calor Específico (kJ/kg K)	Flujo Másico (kg/s)
1	Nitrógeno	-193	1.05	0.017
2	Aire seco	-36	1.003	0.12
3	Mezcla	Desconocida	1.008 ⁴⁷	0.137

Fuente: Elaboración Propia

El flujo másico del punto 3 se calcula por continuidad:

⁴⁷ Este valor se calcula más adelante.

$$\dot{m}_3 = \dot{m}_1 + \dot{m}_2$$

$$\dot{m}_3 = 0.017 \frac{kg}{s} + 0.12 \frac{kg}{s} = 0.137 \frac{kg}{s}$$

El calor específico de una mezcla se calcula de la siguiente manera:

$$C_{pm} = \frac{\dot{m}_1 C_{p1}}{\dot{m}_1 + \dot{m}_2} + \frac{\dot{m}_2 C_{p2}}{\dot{m}_1 + \dot{m}_2}$$

$$C_{pm} = \frac{0.017 \frac{kg}{s} \cdot 1.05 \frac{kJ}{kg K}}{0.137 \frac{kg}{s}} + \frac{0.12 \frac{kg}{s} \cdot 1.003 \frac{kJ}{kg K}}{0.137 \frac{kg}{s}}$$

$$C_{pm} = 1.008 \frac{kJ}{kg K}$$

Finalmente se define la primera ley para FEES:

$$\dot{Q}_{VC} = \sum \dot{m}_s h_s - \sum \dot{m}_i h_i + \dot{W}$$

$$0 = \dot{m}_3 h_3 - \dot{m}_1 h_1 - \dot{m}_2 h_2 + 0$$

Tomando como gas ideal al nitrógeno vaporizado y al aire⁴⁸:

$$0 = \dot{m}_3 C_{p3} T_3 - \dot{m}_1 C_{p1} T_1 - \dot{m}_2 C_{p2} T_2$$

$$0 = 0.14 \frac{kg}{s} \cdot 0.9237 \frac{kJ}{kg K} \cdot (T + 273) K - 0.02 \frac{kg}{s} \cdot 1.05 \frac{kJ}{kg K} \cdot (-193 + 273) K$$

$$- 0.12 \frac{kg}{s} (0.9) \cdot 1.003 \frac{kJ}{kg K} \cdot (-36 + 273) K$$

$$T_3 = -100 ^\circ C$$

Este valor no sorprende, debido a que el flujo másico del aire es mayor al del nitrógeno, de la ecuación se observa que la forma más simple de bajar la temperatura de

⁴⁸ Se usa un factor de 0.9 para el aire, debido a que al valor de 0.12kg/s no se le restó la masa del vapor de agua condensado en el IC.

la mezcla (punto 3) es disminuyendo el flujo de aire, pero se estaría canjeando seguridad por temperatura.

En este tema entra en conflicto la seguridad del paciente (por falta de oxígeno) versus la temperatura más baja que se pueda lograr. Y debido a que no hay forma de conocer cuan seguro es el uso de la cantidad de aire introducida (0.12 kg/s de aire por 0.017kg/s de nitrógeno) sino con la creación de un prototipo idéntico al diseño, se decide que el flujo másico de aire siga siendo el presentado hasta ahora. Lo que quiere decir que la temperatura mínima dentro de la cámara del usuario será de -100°C.

Se define el área superficial del usuario. Se decidió tomar la estatura promedio de la selección peruana de futbol⁴⁹ y el peso recomendado para dicha talla⁵⁰:

$$A_s = (W^{0.425} \cdot H^{0.725}) \cdot 0.007184$$

$$A_s = (72.50^{0.425} \cdot 180cm^{0.725}) \cdot 0.007184$$

$$A_s = 1.91m^2$$

Finalmente se procede al análisis de la transferencia de calor del cuerpo humano:

$$\dot{Q}_{ext} = h_c(T_{piel} - T_a) + \sigma \varepsilon \left(\frac{A_r}{A_s} \right) (T_{piel}^4 - T_r^4)$$

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{ext} = 14.8 \frac{W}{m^2 K} & ((T_{piel} + 273)K - (-100 + 273)K) + 5.67 \times 10^{-8} \cdot 0.97 \\ & \cdot (0.73) \left((T_{piel} + 273K)^4 - \left(\frac{173K + 293.5K}{2} \right)^4 \right) \end{aligned}$$

Se observa que la ecuación queda en función de la temperatura de la piel, se extraen valores manualmente de la figura 4-37 y se resuelve para el calor:

⁴⁹ Se tomó este valor y no el promedio de hombres del Perú, debido a que la cámara está hecha para deportistas.

⁵⁰ Peso mediano recomendado por la OMS para un hombre de 1.80m es 72.5kg. Para más información visitar: www.tablapesoideal.com

Tabla 4-24: Tabulación del Calor extraído del cuerpo durante una sesión de 180 segundos

Tiempo (s)	T _{piel} (°F)	T _{piel} (°C)	$\dot{Q}_{ext}$ (W/m ²)	$\dot{Q}_{ext}$ (W)
0.0	90.0	32.2	2186.07	4175.39
10.0	77.0	25.0	2047.78	3911.26
20.0	74.0	23.3	2015.46	3849.53
30.0	70.0	21.1	1973.81	3769.98
40.0	65.5	18.6	1926.73	3680.05
50.0	62.0	16.7	1890.55	3610.95
60.0	58.0	14.4	1848.95	3531.49
70.0	54.5	12.5	1812.91	3462.66
80.0	52.5	11.4	1792.36	3423.41
90.0	47.5	8.6	1741.04	3325.39
100.0	45.5	7.5	1720.71	3286.56
110.0	42.0	5.6	1685.19	3218.71
120.0	40.0	4.4	1664.75	3179.67
130.0	38.5	3.6	1649.63	3150.79
140.0	35.5	1.9	1619.29	3092.84
150.0	32.5	0.3	1589.23	3035.43
160.0	31.0	-0.6	1574.059	3006.45
170.0	29.5	-1.4	1559.09	2977.86
180.0	25.0	-3.9	1514.16	2892.05

Fuente: Elaboración Propia

En la siguiente grafica se observa la tendencia del calor eliminado por el cuerpo, junto a la temperatura de la piel:

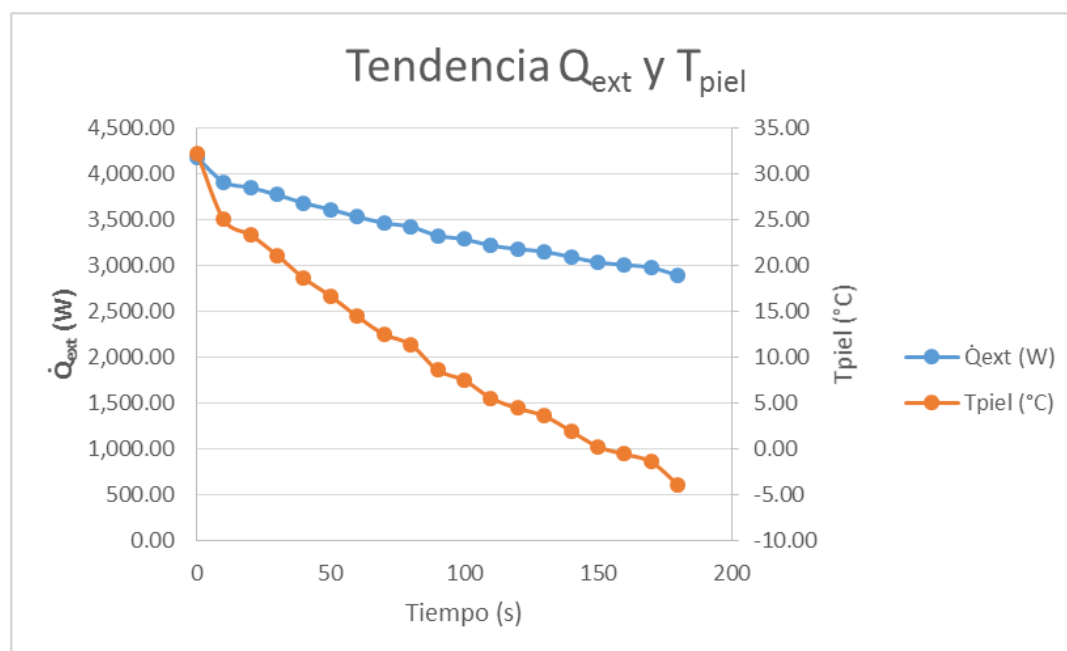


Figura 4-44: Tendencia del $\dot{Q}_{ext}$ y T_{piel}

Fuente: Elaboración Propia

De la gráfica anterior se observa que la máxima transferencia de calor durante la sesión es al inicio, cuando la temperatura de la piel es 33°C, y cae hasta su mínimo al final de la sesión, cuando la temperatura de la piel llega a los -3.9°C.

4.2.2. DEFINICIÓN DE LAS DIMENSIONES DE LA CÁMARA

Este punto incorpora el estudio de la antropometría⁵¹, ya que las medidas del cuerpo humano no es la misma para un hombre joven de contextura delgada a las de un hombre mayor con contextura gruesa, por lo que se buscará que la cámara pueda ser usada por lo menos por el 95 percentil de la población. Se conocen una gran

⁵¹ Antropometría, estudio de las proporciones y medidas del cuerpo, RAE.

cantidad de medidas del cuerpo (figura 4-45) pero para el diseño se seleccionan solo las necesarias.

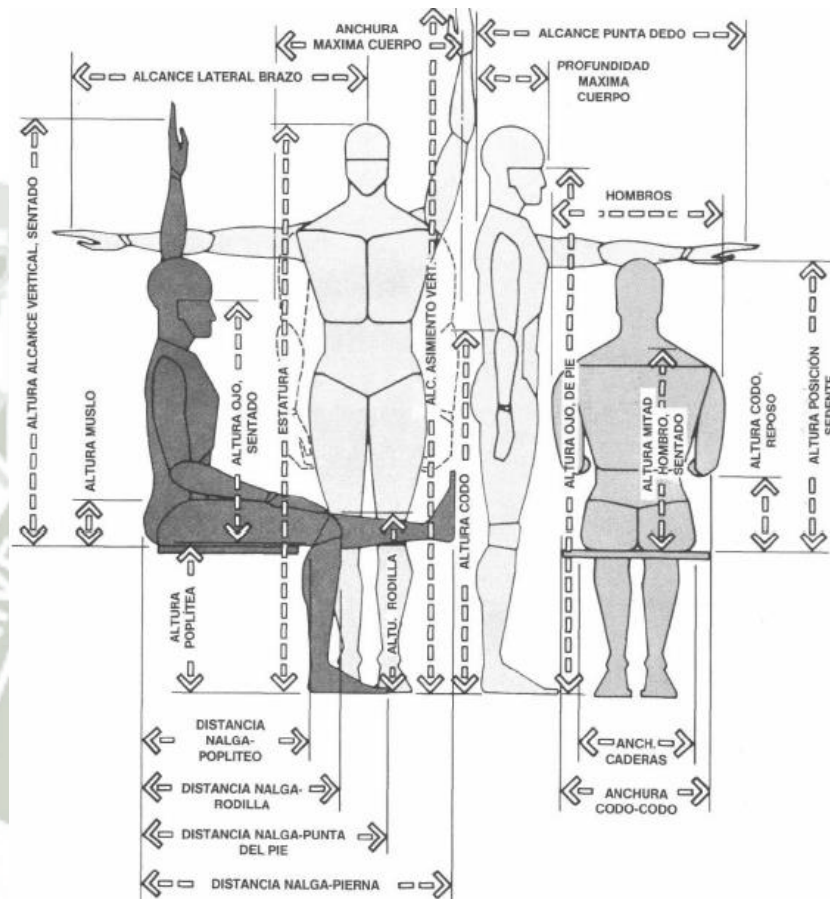


Figura 4-45: Dimensiones humanas de mayor uso para el diseñador

Fuente: *Dimensiones Humanas – Estándares Antropométricos*, Panero y Zelnik, 1996.

Se diseña la cámara para varones, tomando la lógica que si un varón entra cómodamente en la cámara, también lo hará una mujer.

Se usan tablas de dimensiones, extraídas de un libro de estándares antropométricos [11], para varones de 25 a 34 años, el cual es el rango de edades al cual pertenecen la mayoría de deportistas de nuestro país.

Las medidas necesarias para el diseño de la cámara son: Altura hombro, anchura hombros y anchura cadera, (ver figura 4-46)

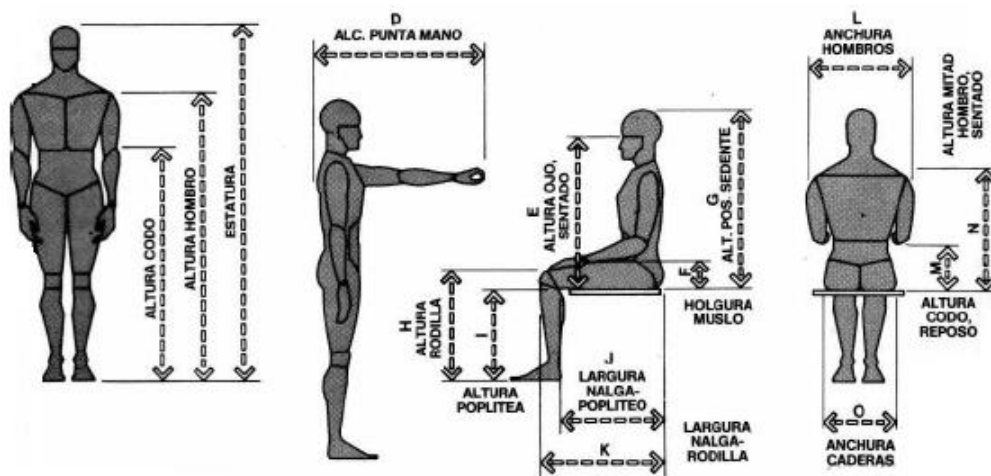


Figura 4-46: Dimensiones del cuerpo: previsión 1985

Fuente: Dimensiones Humanas – Estándares Antropométricos, Panero y Zelnik, 1996.

Los valores de dichas medidas se muestran en la siguiente tabla (Columnas B, L y O):

Tabla 4-25: Dimensiones del cuerpo: previsión 1985 de hombres y mujeres adultos

Dimensiones del cuerpo: previsión 1985, de hombres y mujeres adultos, en pulgadas y centímetros, según sexo selección de percentiles																	
		Peso		A		B		C		D		E		F		G	
		lb	kg	pulg.	cm	pulg.	cm	pulg.	cm	pulg.	cm	pulg.	cm	pulg.	cm	pulg.	cm
95 5	HOMBRES	215.4	97,7	47.6	120,9	61.3	155,7	74.3	188,6	34.4	87,4	34.1	86,5	7.5	19,1	39.0	99,0
	MUJERES	165.1	74,9	42.8*	108,7	55.7	141,4	68.0	172,8	31.7	80,6	31.3	79,6	5.9	14,9	36.0	91,5
	HOMBRES	143.7	65,2	41.5	105,5	53.7	136,5	66.2	168,2	29.3	74,3	30.1	76,4	5.7	14,5	34.8	88,5
	MUJERES	104.5	47,4	38.0*	96,5	48.4	122,9	60.0	152,3	26.7	67,7	27.4	69,5	4.1	10,4	32.0	81,2
		H		I		J		K		L		M		N		O	
		pulg.	cm	pulg.	cm	pulg.	cm	pulg.	cm	pulg.	cm	pulg.	cm	pulg.	cm	pulg.	cm
95 5	HOMBRES	23.7	60,3	18.8	47,8	21.7	55,1	25.7	65,4	20.8	52,9	11.7	29,7	27.4	69,6	16.6	42,2
	MUJERES	21.4*	54,3	17.4	44,2	20.7	52,7	24.4	62,0	18.4	46,8	10.7	27,1	24.8	63,1	16.4	41,6
	HOMBRES	20.5	52,1	15.9	40,4	18.3	46,4	22.2	56,4	17.5	44,4	8.3	21,0	23.9	60,6	13.5	34,4
	MUJERES	18.4*	46,7	14.9	37,8	17.2	43,7	21.0	53,3	15.2	38,6	7.6	19,2	21.3	54,2	13.9	35,4

Fuente: Dimensiones Humanas – Estándares Antropométricos, Panero y Zelnik, 1996.

Se extraen los datos de la tabla anterior:

Tabla 4-26: Dimensiones para interior de cámara

Medida	Valor (mm)	Valor + 10% (mm)
B	1557	N/A
L	529	582
O	422	464

Fuente: Elaboración Propia

En la siguiente imagen, se ve un esquema de las medidas del interior de la cámara.

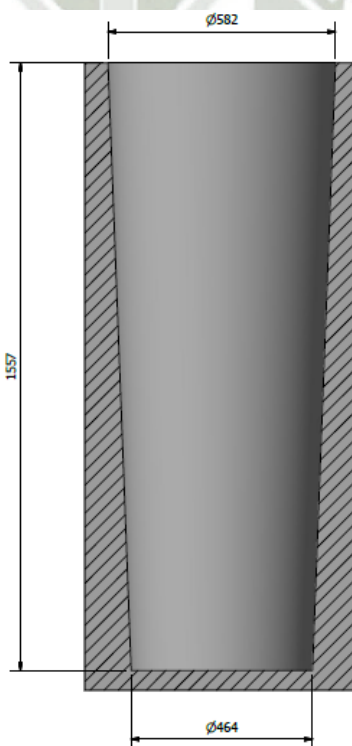


Figura 4-47: Dimensiones del interior de la cámara (solo referencia)

Fuente: Elaboración Propia con ayuda de Inventor Professional

4.2.3. DISEÑO DEL AISLAMIENTO EN CÁMARA

Para calcular el aislamiento de la cámara se trabajará con una tabla utilizada en cámaras de congelación (tabla 4-27)

Tabla 4-27: Espesor de aislante según temperatura interior de la cámara

Temperatura de cámara	Espesor de corcho
-45 @ -15°F	10"
-15 @ 0°F	8"
0 @ 15°F	7"
15 @ 25°F	6"
25 @ 35°F	5"
35 @ 50°F	4"
50 @ 60°F	3"

Fuente: Refrigeración UCSM, Gordillo C. 2013

Extrapolando el espesor para nuestra temperatura interna de la cámara (-100°C) se obtiene un espesor de corcho de 17", pero el aislante a usar será el poliuretano inyectado, por lo que se utiliza la siguiente relación:

$$\frac{e_{poli}}{K_{poli}} = \frac{e_c}{K_c}$$

$$\frac{e_{poli}}{0.018 \frac{kcal}{hr m^{\circ}C}} = \frac{17pulg}{0.035 \frac{kcal}{hr m^{\circ}C}}$$

$$e_{poli} = 8.7 \text{ pulg}$$

Pero por cuestiones estéticas y debido a que la cámara perderá gran parte de su frío por la parte superior (por estar abierta al ambiente) se utilizará solo el 50% de ese valor (aproximadamente 4 pulg o 100mm) para la cámara, las medidas aproximadas se muestran en la figura 4-48:

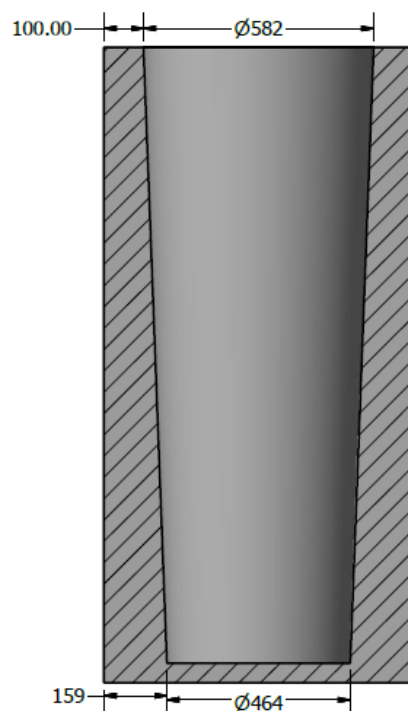


Figura 4-48: Dimensiones del interior de la cámara (solo referencia)

Fuente: Elaboración Propia con ayuda de Inventor Professional

4.3.DISEÑO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DE LN₂ AL EVAPORADOR

El sistema de suministro de vapor inicia en el tanque de nitrógeno líquido y termina en la entrada al evaporador. Es en esta zona donde se controla el flujo de LN₂ que ingresa al evaporador, mediante una válvula solenoide, así mismo esta zona debe contar con una válvula de seguridad.

En la figura 4-49 se muestra un esquema del sistema de suministro de LN₂ hacia el evaporador:

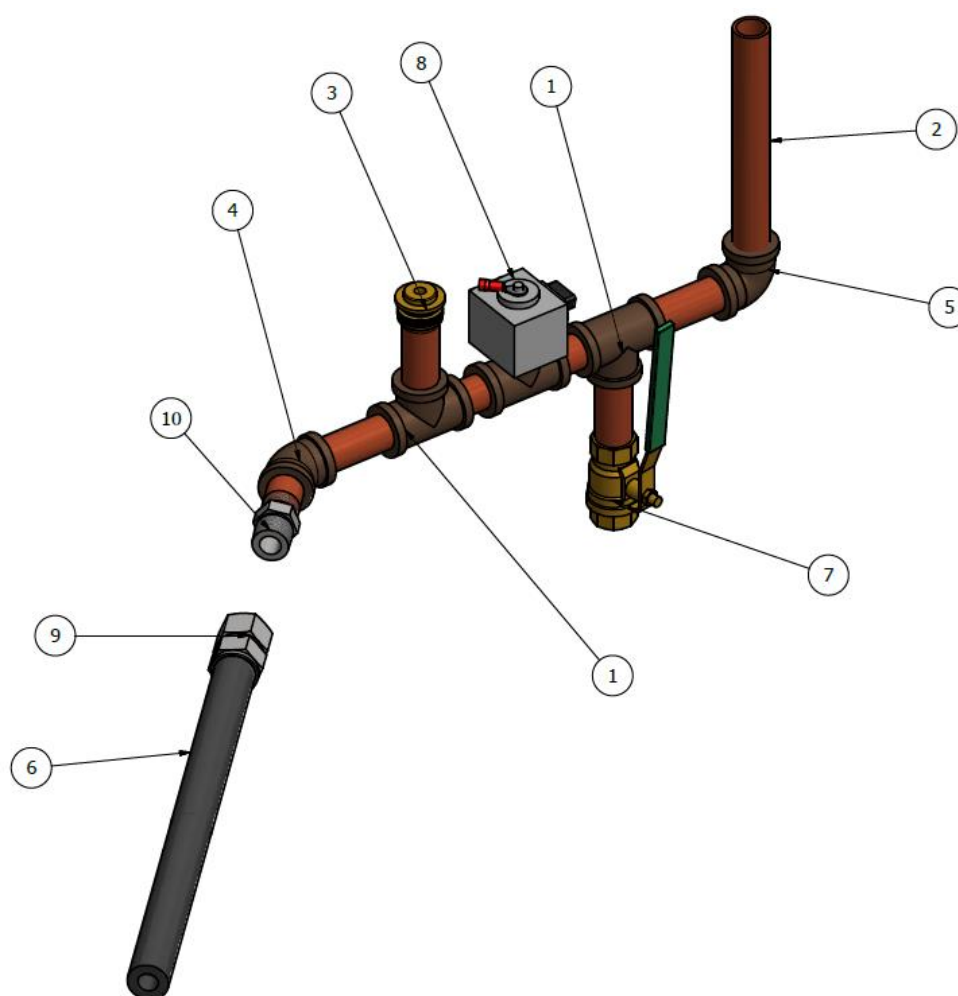


Figura 4-49: Esquema de sistema de suministro de LN₂

Fuente: Elaboración Propia con ayuda de Inventor Professional

Las partes del sistema anterior se especifican en la siguiente tabla:

Tabla 4-28: Lista de componentes de sistema de suministro de LN₂

Item	Cantidad	Descripción
1	2	Tee 3/8", Bronce
2	300mm ⁵²	Tubo cobre tipo M, 3/8"
3	1	Válvula de alivio de presión ,3/8", Bronce
4	1	Codo 45°, 3/8", Bronce
5	1	Codo 90°, 3/8", Bronce
6	1	Manguera Criogénica Flexible (Sin Vacío), 3/8"
7	1	Válvula de Bola, Bronce, 3/8"
8	1	Válvula Solenoide
9	1	Acople Hembra Giratorio 3/8" Bronce
10	1	Acople Flare 45° 3/8", Bronce

Fuente: Elaboración Propia

4.3.1. DISEÑO DE AISLAMIENTO DE TUBERÍA DE COBRE

La tubería de cobre debe estar aislada por las siguientes razones:

- Evitar que la humedad del aire se condense en el exterior del tubo.
- Evitar que el fluido gane calor desde el exterior.

Para el diseño, se utiliza un software de diseño AISLAM⁵³, los datos de entrada se deben definir:

⁵² Medida aproximada, para más detalle ver planos.

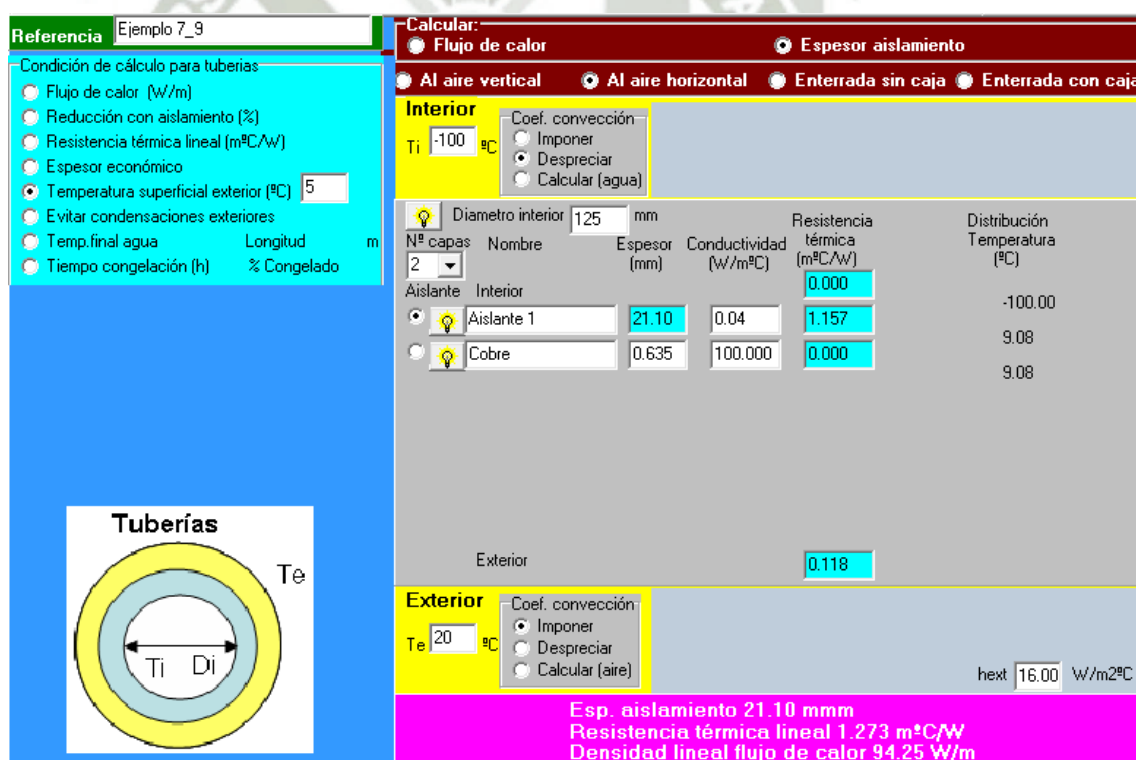
⁵³ Aislam es un programa de cálculo de aislamientos creado por la Universidad Politécnica de Valencia, para más información visitar: <http://www.cleanergysolar.com/2011/10/27/aislam-programa-de-calculo-de-aislamientos/>

Tabla 4-29: Datos de entrada para el software AISLAM

Temperatura Interior (°C)	-100 ⁵⁴
Temperatura Exterior (°C)	20
Coeficiente de convección Externa (W/m ² °C)	16 ⁵⁵
Coeficiente de convección Interna (W/m ² °C)	Despreciable
Material de aislamiento	Fibra de Vidrio
Conductividad del aislamiento (W/m °C)	0.04
Diámetro interior tubo de cobre (mm)	11.43
Espesor del tubo (mm)	0.635

Fuente: Elaboración Propia

Se introducen los datos al software:



Referencia: Ejemplo 7_9

Calcular:

- ☒ Flujo de calor
- ☐ Espesor aislamiento

Al aire vertical ☒ **Al aire horizontal** ☐ **Enterrada sin caja** ☐ **Enterrada con caja**

Interior

Ti: -100 °C

Coef. convección:

- ☐ Imponer
- ☒ Despreciar
- ☐ Calcular (agua)

Díametro interior: 125 mm

Nº capas	Nombre	Espesor (mm)	Conductividad (W/m°C)	Resistencia térmica (m°C/W)	Distribución Temperatura (°C)
2	Aislante			0.000	
	Interior				
	Aislante 1	21.10	0.04	1.157	-100.00
	Cobre	0.635	100.000	0.000	9.08
	Exterior			0.118	9.08

Exterior

Te: 20 °C

Coef. convección:

- ☐ Imponer
- ☒ Despreciar
- ☐ Calcular (aire)

hext: 16.00 W/m²°C

Resultados:

- Esp. aislamiento 21.10 mm
- Resistencia térmica lineal 1.273 m°C/W
- Densidad lineal flujo de calor 94.25 W/m

Tuberías

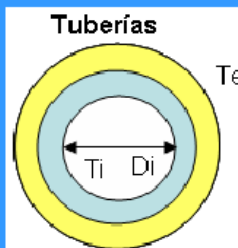


Figura 4-50: Resultado de cálculo de software AISLAM para tubería de cobre

Fuente: Software Aislam

⁵⁴ Desafortunadamente el software tiene una temperatura mínima para cálculos de -100°C, por lo que al resultado que se obtenga, se multiplicará aproximadamente por dos, para obtener el espesor de aislamiento para -190°C

⁵⁵ Valor recomendado por el software para aire quieto.

Se obtiene como resultado 2cm, es decir para una temperatura de -193°C se utilizará un espesor de 4cm de aislamiento de fibra de vidrio.

Se puede observar también que se decidió dar una temperatura mínima superficial del aislamiento de 5°C , y no de 20°C , debido a que al aumentar dicha temperatura el espesor del aislamiento se incrementa considerablemente, en la siguiente tabla se muestra como es el comportamiento del espesor según la temperatura:

Tabla 4-30: Espesor del aislamiento según la temperatura externa del aislamiento

Temperatura Exterior Aislamiento ($^{\circ}\text{C}$)	Espesor para -100°C (mm)	Espesor para -193°C (mm)
-20	5.5	10.6
-15	6.7	12.9
-10	8.4	16.2
-5	10.8	20.8
0	14.5	28.0
5	21.1	40.7
10	36.0	69.5
15	98.3	189.7
16	142.6	275.2
17	244.6	472.1
18	623.9	1204.1
19	5000.0	9650.0

Fuente: Elaboración Propia.

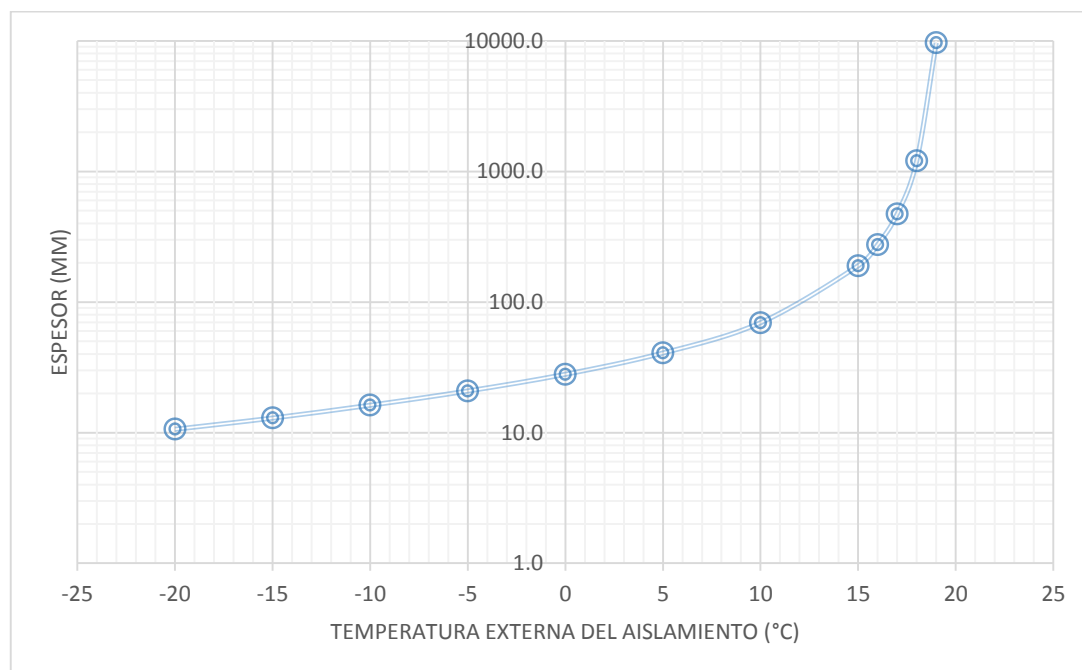


Figura 4-51: Gráfica de espesor de aislamiento versus Temperatura externa del Aislamiento

Fuente: Elaboración Propia.

Se observa que el comportamiento es exponencial, y que si se quisiera que la temperatura externa del aislamiento sea cercana a la temperatura ambiente, el espesor llegaría a tener más de 10 metros de espesor, algo exagerado. Es por eso que se trabaja con 5°C como temperatura externa del aislamiento.

4.4.DISEÑO DEL SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE GASES

Para el sistema de extracción de gases se utiliza un ventilador helicocentrífugo (Anexo 20), y para seleccionar el modelo adecuado se hallará el punto de operación con ayuda de las curvas del ventilador, a continuación se realiza el procedimiento para hallar la curva del sistema.

Para iniciar se debe hallar el número de Reynolds del sistema para lo cual se requiere la densidad y viscosidad dinámica del fluido a extraer (aire más nitrógeno), primero se halla la densidad de la mezcla:

$$\rho_m = \frac{\dot{m}_{aire} + \dot{m}_{N_2}}{\dot{V}_{aire} + \dot{V}_{N_2}} = \frac{0.12 \frac{kg}{s} + 0.017 \frac{kg}{s}}{\frac{350}{3600} \frac{m^3}{s} + 0.00278 \frac{m^3}{s}}$$

$$\rho_m = 1.366 \frac{kg}{m^3}$$

A continuación se procede a hallar la viscosidad de la mezcla, con ayuda de la ecuación de Wilke (anexo 50), para lo cual primero se debe hallar la fracción molar de cada componente:

Tabla 4-31: Fracción molar de mezcla aire-N₂

Componente	Masa ⁵⁶ (g)	Peso Molar (g/mol)	Cantidad (mol)	Fracción Molar
Aire	120	28.97	4.14	0.8716
N ₂	17	28.01	0.61	0.1284
Total	-	-	4.75	1.0000

Fuente: Elaboración Propia.

A continuación se definen los datos para iniciar el cálculo de la viscosidad de la mezcla:

Tabla 4-32: Datos de la mezcla aire-N₂

Elemento i	Fracción Molar X _i	Peso Molar M _i (g/mol)	Viscosidad Dinámica μ _i (Poise)
Aire	0.8716	28.97	1.189E-05
N ₂	0.1284	28.01	1.100E-04

Fuente: Elaboración Propia.

⁵⁶ Se trabaja con la masa en un segundo, es por eso que los 120g/s de aire se convierten en 120g (lo mismo para el nitrógeno)

La ecuación que se usa para el cálculo de la viscosidad de una mezcla de gases es:

$$\mu_m = \sum_{i=1}^n \frac{X_i \times \mu_i}{\sum_{j=1}^n X_j \times \Phi_{ij}}$$

La cual depende del siguiente número adimensional:

$$\Phi_{ij} = \frac{1}{\sqrt{8}} \left(1 + \frac{M_i}{M_j} \right)^{-1/2} \left[1 + \left(\frac{\mu_i}{\mu_j} \right)^{1/2} \left(\frac{M_j}{M_i} \right)^{1/4} \right]^2$$

Donde: n: Número de especies químicas existentes en la mezcla

X_i y X_j : Fracciones molares de las especies ij

μ_i y μ_j : Viscosidades de ij a la temperatura y presión del sistema [Poise]

M_i y M_j : Pesos moleculares de ij [g/mol]

Φ_{ij} : Número adimensional

Si $i=j$ entonces $\Phi_{ij} = 1$

Los resultados se tabulan en la siguiente tabla:

Tabla 4-33: Tabulación de cálculo de numero adimensional

i	j	M_i/M_j	μ_i/μ_j	Φ_{ij}	$\sum_{j=1}^2 X_j \cdot \Phi_{ij}$
1	1	1	1	1	0.927
	2	1.035	0.108	0.435	
2	1	0.967	9.251	4.171	3.763
	2	1	1	1	

Fuente: Elaboración Propia.

Finalmente se calcula la viscosidad de la mezcla de aire y N₂:

$$\mu_m = \sum_{i=1}^n \frac{X_i \times \mu_i}{\sum_{j=1}^n X_j \times \Phi_{ij}} = \frac{0.8716 \cdot 1.19E-05}{0.927} + \frac{0.1280 \cdot 1.10E-04}{3.763}$$

$$\mu_m = 0.0000144 \text{ Poise} = 0.00144 \text{ cP}$$

Con este valor se procede a hallar el número de Reynolds, que posteriormente ayudará a hallar la curva del sistema:

$$Re = \frac{V_m D_H \rho_m}{\mu_m} = \frac{3.42 \frac{m}{s} \cdot \frac{101.6}{1000} m \cdot 1.366 \frac{kg}{m^3}}{1.44E-06 \frac{kg}{m \cdot s}}$$

$$Re = 343890$$

Se asume un caudal (que en realidad es un valor de iteración) de 100 m³/hr de mezcla para poder hallar la velocidad dentro del ducto:

$$V_m = \frac{\dot{V}_m}{A} = \frac{\frac{100 \text{ m}^3}{3600 \text{ s}}}{\frac{\pi}{4} \left(\frac{101.6}{1000} m \right)^2} = 3.08 \frac{m}{s}$$

Se observó en las ecuaciones anteriores que se usó un diámetro de 101.6mm (4”), este diámetro se obtuvo luego de seleccionar una manguera flexible (Anexo 21) que se usará como descarga del ventilador. A continuación se halla el coeficiente de resistencia con ayuda del diagrama de Moody (Anexo 05).

$$\frac{e}{D_H} = \frac{3mm}{101.6mm} \cong 0.03$$

$$f = 0.058$$

A continuación se definen las longitudes equivalentes de los cambios de dirección y reducción:

Tabla 4-34: Longitud equivalente de accesorios

Accesorio	Leq (m)	Cantidad	Leq Total (m)
Codo 90°	1.7	2	3.4
Reducción $\alpha=60^\circ$	0.3	1	0.3
Total			3.7

Fuente: Elaboración Propia.

Así mismo el factor de pérdida de carga k para la rejilla (Anexo 23) de entrada se halla del anexo 22, y es 1.

Se procede a hallar el punto de operación para el caudal iterado:

$$H_v = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + Z_2 - Z_1 + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} + \left(\frac{fL}{D_e} + \Sigma k + f \Sigma \frac{L_{eq}}{D_e} \right) \frac{8Q^2}{\pi^2 D^4 g}$$

$$H_v = 1.5m - 0m + \frac{3.08 \frac{m}{s} - 0}{2 \cdot 9.81 \frac{m^2}{s}} + \left(\frac{0.058 \cdot 2.7m}{0.1016m} + 1 + \frac{0.058}{0.1016m} (3.7m) \right) \frac{8 \left(\frac{90}{3600} \frac{m^3}{s} \right)^2}{\pi^2 (0.1016m)^4 9.81 \frac{m^2}{s}}$$

$$H_v = 4.24m$$

Se transforma dicha altura a metros de columna de agua:

$$H_{v,H_2O} = H_{v,mezcla} \frac{\rho_m}{\rho_{H_2O}} = 4.24m \cdot \frac{1.366 \frac{kg}{m^3}}{1000 \frac{kg}{m^3}}$$

$$H_{v,H_2O} = 5.8mmca$$

Y graficando, para un caudal variable:

Tabla 4-35: Tabulación para graficar la curva del sistema

V (m ³ /hr)	V (m ³ /s)	H (mcm)	H (mmch _{2o})
0	0	1.98	2.70
25	0.0069	2.15	2.94
50	0.0139	2.68	3.66
75	0.0208	3.55	4.84
100	0.0278	4.76	6.51
125	0.0347	6.33	8.65
150	0.0417	8.25	11.26
175	0.0486	10.51	14.35
200	0.0556	13.12	17.92
225	0.0625	16.08	21.96

Fuente: Elaboración Propia.

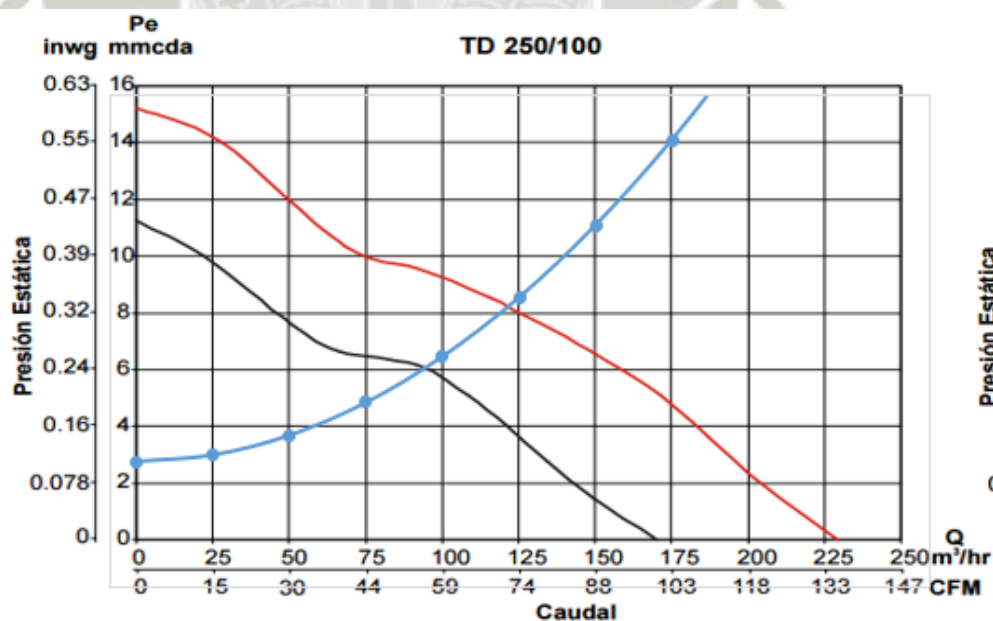


Figura 4-52: Curva del sistema y punto de operación (la línea negra indica la velocidad 1 del motor)

Fuente: Elaboración Propia.

Se confirma que el punto de operación está muy cerca a los $90\text{m}^3/\text{hr}$ asumidos al comienzo. A continuación se muestra el esquema del sistema de extracción de gases.

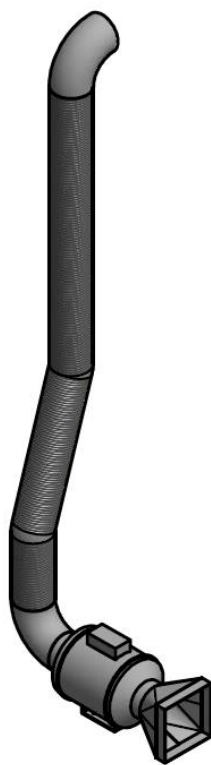


Figura 4-53: Esquema de extracción de gases (En la figura no se muestra la rejilla)

Fuente: Elaboración Propia con ayuda de Inventor

4.5.DISEÑO ESTRUCTURAL

El diseño estructural se dividirá en dos partes, la primera que abarca la ubicación del evaporador y la segunda que abarca la estructura de la cámara del usuario.

4.5.1. DISEÑO DE ESTRUCTURA SUPERIOR

Se definen las cargas presentes en el diseño:

-Carga muerta: Peso del evaporador, peso del refrigerante, peso estructura.

-Carga viva.

4.5.1.1.CARGA MUERTA

Se tabularán todas las cargas muertas que soporta dicha estructura.

Tabla 4-36: Tabla de pesos que soporta la estructura superior

Elemento	Material	Peso (kg)	Cantidad	Peso Total (kg)
Recubrimiento Superior	Acero Inox	1.1	1	1.1
Recubrimiento Lateral	Acero Inox	11.81	1	11.8
L1x1x1/8, Perfil 1	Acero	0.401	4	1.6
L1x1x1/8, Perfil 2	Acero	0.665	4	2.7
L1x1x1/8, Perfil 3	Acero	1.137	4	4.5
Ventilador	N/A	4	1	4.0
Ensamble Puerta	Varios	20.25	1	10.1 ⁵⁷
Aparatos Electrónicos	N/A	5	1	5.0
Cableado	N/A	1	1	1.0
Platinas para Ventilador	Acero	0.2	2	0.4
Pernería	Acero	1	1	1.0
			Total	39.7

Fuente: Elaboración Propia, Extraída de Inventor Professional

⁵⁷ Debido a que la puerta se apoya tanto en la estructura superior como en la inferior, solo se tomó la mitad del peso producido.

Se obtiene como carga muerta:

$$P_D = 40kg$$

4.5.1.2.CARGA VIVA

Para el caso de la carga viva se tomará en cuenta la acción humana de apoyarse en la puerta, debido a que toda carga en la puerta la soporta la estructura.

Se asumirá dicha carga como un porcentaje del peso del usuario más robusto que podría usar la cámara:

Tabla 4-37: Peso para un hombre de contextura gruesa

Usuario	Estatura (cm)	Contextura	Peso (kg)
Hombre	180	Grande	83 ⁵⁸

Fuente: *Elaboración Propia.*

Asumiendo que la carga es equivalente al 50% del peso del usuario, se obtiene una carga viva de:

$$P_L = 41.5kg$$

4.5.1.3.COMBINACIÓN DE CARGAS

Siguiendo la metodología LRFD⁵⁹ se procede a calcular las combinaciones de cargas, y luego escoger la que tenga el máximo valor absoluto:

- $1.4P_D = 1.4 \cdot 40kg = 56kg$
- $1.2P_D + 1.6P_L = 1.2 \cdot 40kg + 1.6 \cdot 41.5kg = 114.4kg$

⁵⁸ Peso obtenido de tablas recomendadas por la OMS, para más información visitar: <http://www.tablapesoideal.com/>

⁵⁹ Load & Resistance Factor Design

Por lo tanto la carga total para la estructura es 115kg, la cual se distribuirá en las cuatro esquinas superiores para proceder con el análisis.

Se modela la estructura en Autodesk Simulation Mechanical, para lo cual se asumirá como elemento estructural un ángulo L1X1X1/8", el cual se verificará más adelante

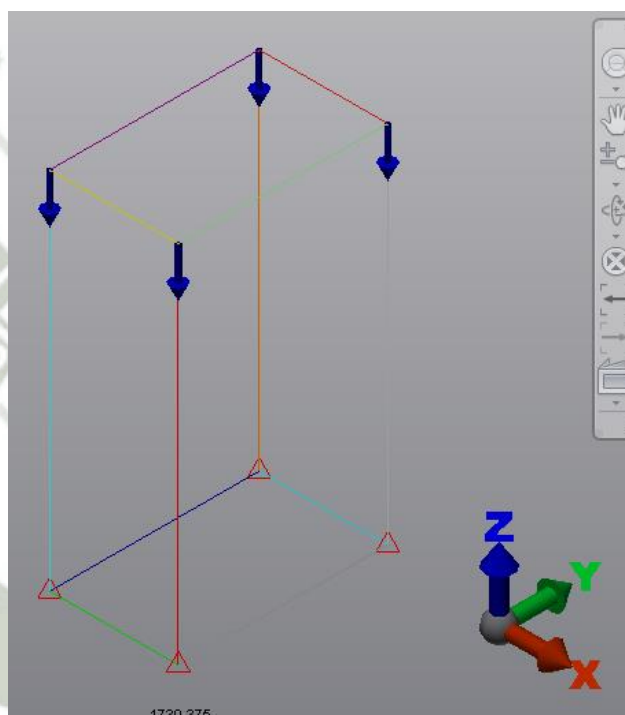


Figura 4-54: Modelamiento de estructura superior en Simulation Mechanical

Fuente: Elaboración Propia con ayuda de Simulation Mech.

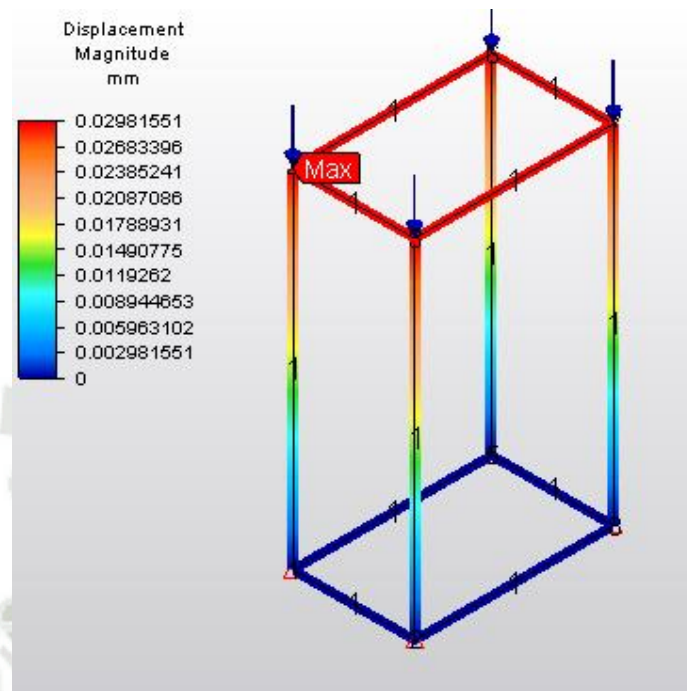


Figura 4-55: Resultados de Simulación

Fuente: Elaboración Propia con ayuda de Simulation Mech.

Se puede observar que el desplazamiento máximo es 0.029mm, pero desafortunadamente Simulation Mechanical, no resuelve la simulación para esfuerzos⁶⁰. Por lo que se procedió a modelar (figura 57) y simular (figura 58) la estructura en inventor:

⁶⁰ Se asume que esto es debido a que las cargas son pequeñas.

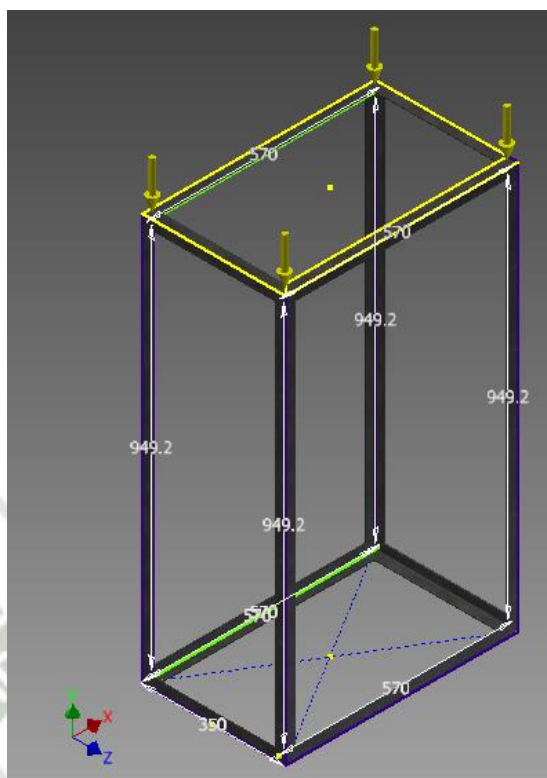


Figura 4-57: Modelación de la estructura en Inventor

Fuente: Elaboración Propia con ayuda de Inventor

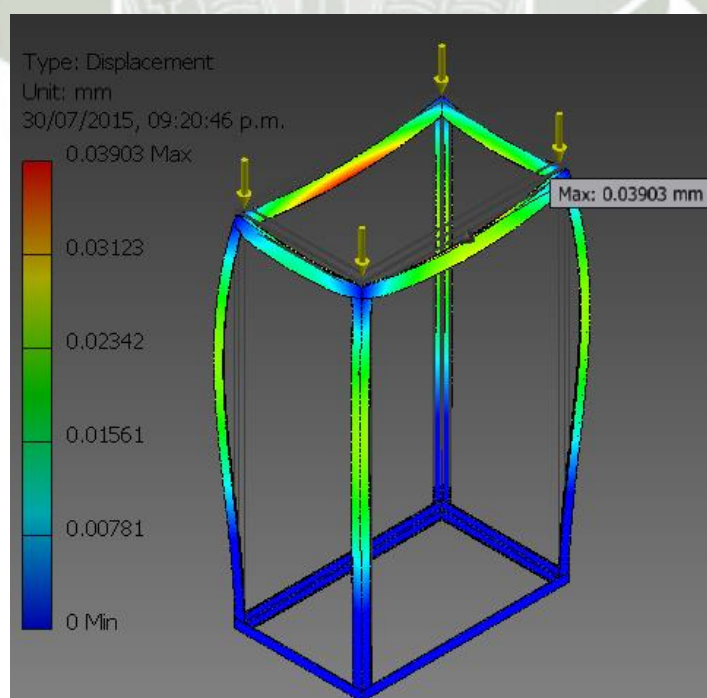


Figura 4-56: Resultado de desplazamiento en Inventor

Fuente: Elaboración Propia con ayuda de Inventor

Así mismo se puede observar el resultado para el esfuerzo de Von Mises:

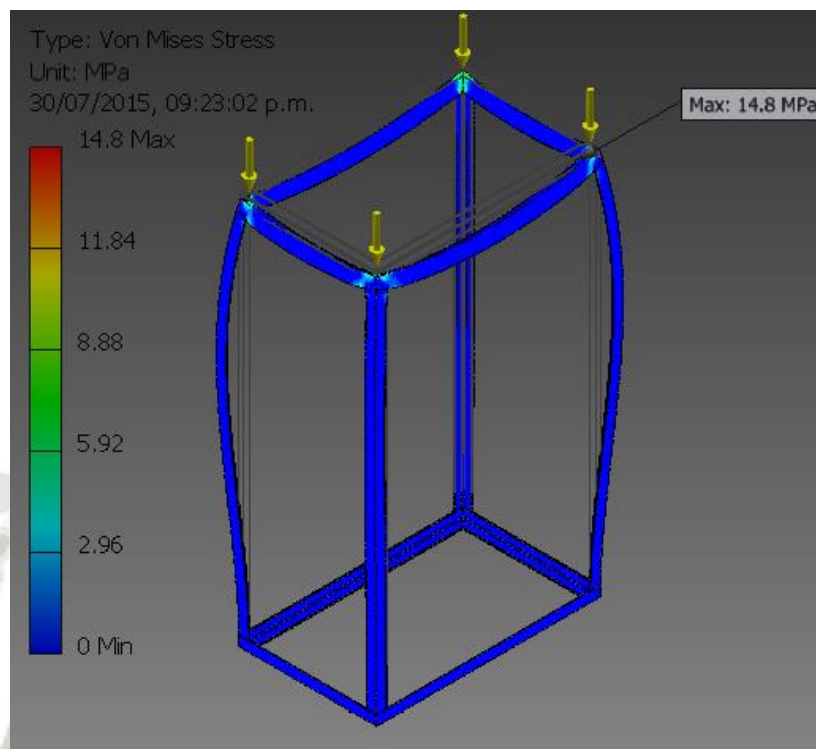


Figura 4-58: Resultado de esfuerzo de Von Mises con Inventor

Fuente: Elaboración Propia con ayuda de Inventor

Siendo el máximo esfuerzo de Von Mises 14.8MPa, que comparado con el esfuerzo de fluencia del acero (207MPa) es despreciable.

4.5.1.4.DISEÑO DE ELEMENTO POR COMPRESIÓN

Cada columna de la estructura está sujeta a una carga de compresión de aproximadamente 30kg (66.2lb).

La LRFDS⁶¹ requiere que: $P_d > F_c$; $\Phi_c F_{cr} A_g \geq 0.066 \text{klb}$

Podemos seleccionar un elemento de prueba al suponer un valor adecuado para el esfuerzo de diseño de compresión, $\Phi_c F_{cr}$, Por lo común se elige valores entre

⁶¹ Load & Resistance Factor Design Specification.

el $0.55F_y$ y $0.85F_y$, Entonces supondremos un esfuerzo de diseño de $0.8F_y$, Se tiene:

$$\Phi_c F_{cr} = 0.8F_y = 0.8 \cdot 36ksi = 28.8ksi$$

Área requerida:

$$A_g > \frac{0.066klb}{28.8ksi} = 0.0026pulg^2$$

Del Anexo 24 se observa que el ángulo seleccionado (L1X1X1/8) tiene un área de $0.24pulg^2$, por lo que se sigue el cálculo con dicho ángulo.

Tabla 4-38: Datos de ángulo estructural

Elemento	$r_x(pulg)$	$r_y(pulg)$	$A(in^2)$
L1X1X1/8	0.304	0.304	0.24

Fuente: Elaboración Propia

Lo que resulta:

$$\frac{KL}{r_x} = \frac{KL}{r_y}$$

Por lo tanto⁶²:

$$\frac{KL}{r_x} = \frac{2.1 \cdot 37.4pulg}{0.304pulg} = 258.4$$

El parámetro de esbeltez de un miembro de acero A36 es:

$$\lambda_c = \frac{KL}{r} \div \left[\pi \sqrt{\frac{E}{F_y}} \right] = 258.4 \div \left[\pi \sqrt{\frac{29000ksi}{36ksi}} \right] = 2.89 > 1.5$$

La relación de esfuerzo de diseño en compresión que corresponde al parámetro de esbeltez λ_c se puede obtener de la tabla del anexo 25:

⁶² Se toma el valor de K(Factor de longitud efectiva) del Anexo 26.

$$\frac{\Phi_c F_{cr}}{F_y} = 0.084$$

$$\Phi_c F_{cr} = 0.089 \cdot 36ksi = 3.2ksi$$

La resistencia de diseño es:

$$P_d = A_g \Phi_c F_{cr} = 0.24in^2 \cdot 3.2ksi = 0.768klb = 768lb = 349kg$$

Esta resistencia es mucho mayor a la carga de 30kg a la que está sujeta la columna, por lo que se considera adecuada.

A continuación se verifica la esbeltez del elemento:

Tabla 4-39: Datos elemento

Sección	r_x (pulg)	L(pulg)	L/ r_x
L1X1X1/8	0.304	37.4	123

Fuente: Elaboración Propia

El valor de L/ r_x debe ser menor que 200⁶³, por lo que el elemento no tiene problemas de esbeltez.

4.5.2. DISEÑO DE ESTRUCTURA INFERIOR

Se definen las cargas presentes en el diseño:

- Carga muerta: Peso del evaporador, peso del refrigerante, peso estructura.
- Carga viva: Porcentaje del peso de un hombre.

⁶³ Se tomó este valor del RNE (Reglamento Nacional de Edificaciones) del Perú, Norma E.090, que indica que la relación de esbeltez máxima para miembros en compresión es 200.

4.5.2.1.CARGA MUERTA

Se tabularán todas las cargas muertas que soporta dicha estructura.

Tabla 4-40: Tabla de pesos que soporta la estructura superior

Elemento	Material	Peso (kg)	Cantidad	Peso Total (kg)
Peso total de estructura superior	Varios	39.7	1	39.7
Recubrimiento Lateral	Acero Inox	5.4	1	5.4
L1x1x1/8, Perfil 1	Acero	0.4	4	1.6
L1x1x1/8, Perfil 2	Acero	0.7	4	2.7
L1x1x1/8, Perfil 3	Acero	1.0	4	4.1
Pernería y soldadura	Acero	3.0	1	3.0
Ensamble Puerta	Varios	20.3	1	20.3
Aparatos Electrónicos	N/A	5.0	1	5.0
Cableado	N/A	1.0	1	1.0
Platinas para IC	Acero	0.2	2	0.5
Ensamble Ampliación Entrada	Acero Inox	1.0	1	1.0
Ensamble Evaporador	Varios	2.5	1	2.5
Ensamble Ducto Salida	Acero Inox	0.7	1	0.7
Aislamiento	Fibra de Vidrio	10.0	1	10.0
Rejilla Final	Acero Inox	0.5	1	0.5
Ductos Desague	PVC	1.0	1	1.0
Ensamble Suministro LN2	Varios	3.0	1	3.0
Sistema de extracción gases	Varios	10.0	1	10.0
Nitrógeno	N/A	0.3	1	0.3
			Total	112.0

Fuente: Elaboración Propia

Se obtiene como carga muerta:

$$P_D = 112kg$$

4.5.2.2.CARGA VIVA

Para el caso de la carga viva se tomará en cuenta la acción humana de apoyarse en la puerta, debido a que toda carga en la puerta la soporta la estructura.

Se asumirá dicha carga como un porcentaje del peso del usuario más robusto que podría usar la cámara:

Tabla 4-41: Peso para un hombre de contextura gruesa

Usuario	Estatura (cm)	Contextura	Peso (kg)
Hombre	180	Grande	83 ⁶⁴

Fuente: Elaboración Propia.

Asumiendo que la carga es equivalente al 50% del peso del usuario, se obtiene una carga viva de:

$$P_L = 41.5kg$$

4.5.2.3.COMBINACIÓN DE CARGAS

Siguiendo la metodología LRFD⁶⁵ se procede a calcular las combinaciones de cargas, y luego escoger la que tenga el máximo valor absoluto:

- $1.4P_D = 1.4 \cdot 112kg = 156.8kg$
- $1.2P_D + 1.6P_L = 1.2 \cdot 112kg + 1.6 \cdot 41.5kg = 200.8kg$

Por lo tanto la carga total para la estructura es 201kg, la cual se distribuirá en las cuatro esquinas superiores para proceder con el análisis.

Se procede a modelar (figura 59) y simular (figura 60) la estructura en inventor:

⁶⁴ Peso obtenido de tablas recomendadas por la OMS, para más información visitar: <http://www.tablapesoideal.com/>

⁶⁵ Load & Resistance Factor Design

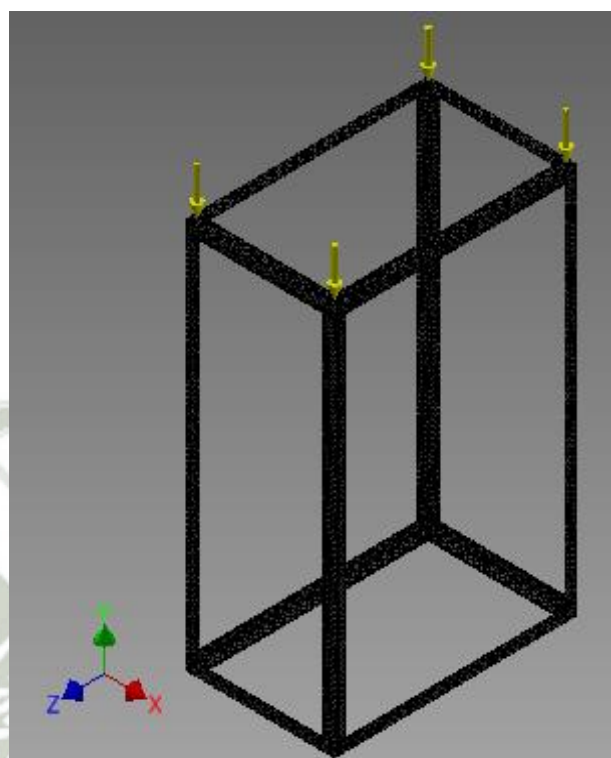


Figura 4-59: Modelación de la estructura en Inventor

Fuente: Elaboración Propia con ayuda de Inventor

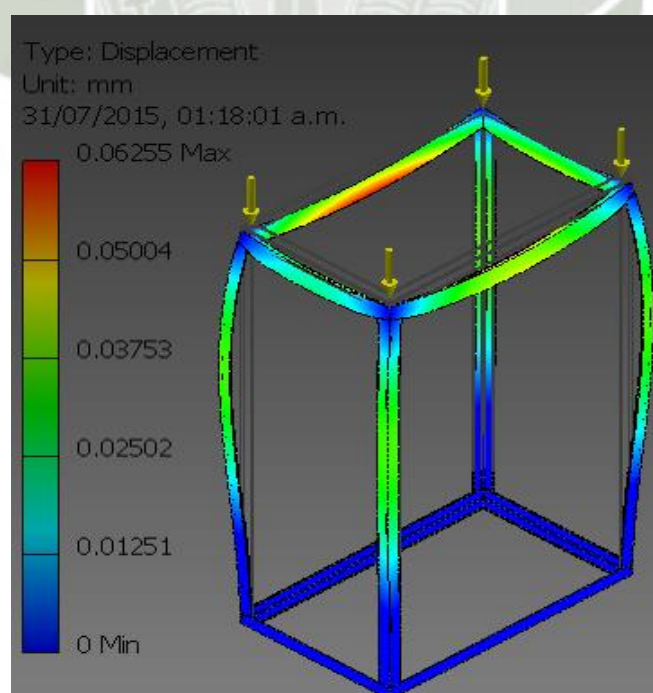


Figura 4-60: Resultado de desplazamiento en Inventor

Fuente: Elaboración Propia con ayuda de Inventor

Así mismo se puede observar el resultado para el esfuerzo de Von Mises:

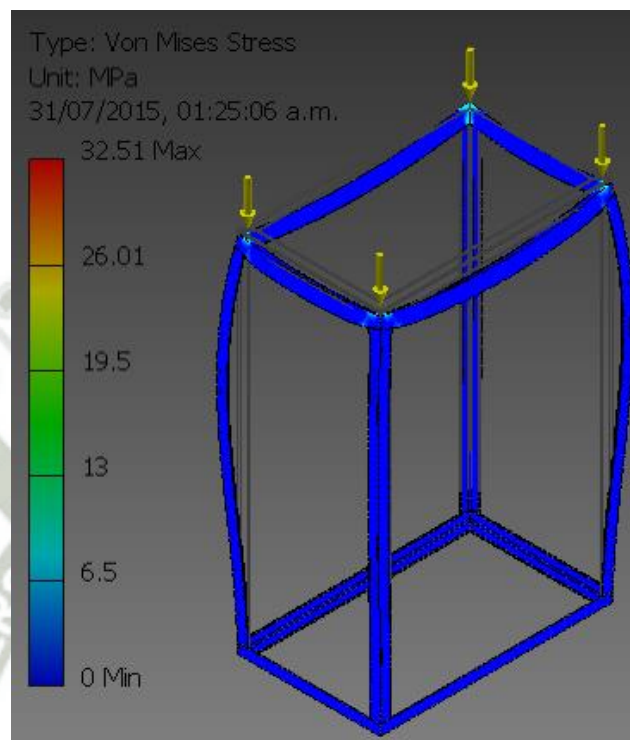


Figura 4-61: Resultado de esfuerzo de Von Mises con Inventor

Fuente: Elaboración Propia con ayuda de Inventor

Siendo el máximo esfuerzo de Von Mises 32.51MPa, que comparado con el esfuerzo de fluencia del acero (207MPa) es despreciable.

4.5.2.4.DISEÑO DE ELEMENTO POR COMPRESIÓN

Cada columna de la estructura está sujeta a una carga de compresión de aproximadamente 51kg (113lb).

La LRFDS⁶⁶ requiere que: $P_d > F_c$; $\Phi_c F_{cr} A_g \geq 0.113 \text{klb}$

Podemos seleccionar un elemento de prueba al suponer un valor adecuado para el esfuerzo de diseño de compresión, $\Phi_c F_{cr}$, Por lo común se elige valores entre

⁶⁶ Load & Resistance Factor Design Specification.

el $0.55F_y$ y $0.85F_y$, Entonces supondremos un esfuerzo de diseño de $0.8F_y$, Se tiene:

$$\Phi_c F_{cr} = 0.8F_y = 0.8 \cdot 36ksi = 28.8ksi$$

Área requerida:

$$A_g > \frac{0.066klb}{28.8ksi} = 0.0026pulg^2$$

Del Anexo 24 se observa que el ángulo seleccionado (L1x1x1/8) tiene un área de $0.24pulg^2$, por lo que se sigue el cálculo con dicho ángulo.

Tabla 4-42: Datos de ángulo estructural

Elemento	r_x (pulg)	r_y (pulg)	A(in ²)
L1X1X1/8	0.304	0.304	0.24

Fuente: Elaboración Propia

Lo que resulta:

$$\frac{KL}{r_x} = \frac{KL}{r_y}$$

Por lo tanto⁶⁷:

$$\frac{KL}{r_x} = \frac{2.1 \cdot 33.5pulg}{0.304pulg} = 231.4$$

El parámetro de esbeltez de un miembro de acero A36 es:

$$\lambda_c = \frac{KL}{r} \div \left[\pi \sqrt{\frac{E}{F_y}} \right] = 231.4 \div \left[\pi \sqrt{\frac{29000ksi}{36ksi}} \right] = 2.59 > 1.5$$

La relación de esfuerzo de diseño en compresión que corresponde al parámetro de esbeltez λ_c se puede obtener de la tabla del anexo 26:

⁶⁷ Se toma el valor de K(Factor de longitud efectiva) del Anexo 26.

$$\frac{\phi_c F_{cr}}{F_y} = 0.111$$

$$\phi_c F_{cr} = 0.111 \cdot 36ksi = 3.99ksi$$

La resistencia de diseño es:

$$P_d = A_g \phi_c F_{cr} = 0.24in^2 \cdot 3.99ksi = 0.958klb = 958lb = 435kg$$

Esta resistencia es mucho mayor a la carga de 51kg a la que está sujeta la columna, por lo que se considera adecuada.

A continuación se verifica la esbeltez del elemento:

Tabla 4-43: Datos elemento

Sección	r_x (pulg)	L(pulg)	L/r_x
L1X1X1/8	0.304	33.5	110

Fuente: Elaboración Propia

El valor de L/r_x debe ser menor que 200⁶⁸, por lo que el elemento no tiene problemas de esbeltez.

4.5.3. DISEÑO DE PLATINA SOPORTE DE VENTILADOR

Se usarán platinas para soportar al ventilador, estas platinas van soldadas a la estructura principal como se puede ver en el siguiente esquema:

⁶⁸ Se tomó este valor del RNE (Reglamento Nacional de Edificaciones) del Perú, Norma E.090, que indica que la relación de esbeltez máxima para miembros en compresión es 200.

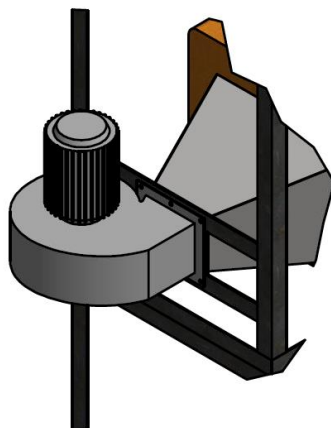


Figura 4-62: Esquema de soporte del ventilador

Fuente: Elaboración Propia con ayuda de Inventor

Se definen las cargas, primero la carga muerta:

Tabla 4-44: Carga muerta para platina

Elemento	Peso(kg)
Ventilador (mitad)	2.5
Peso propio (300x25x3)	0.2
Soldadura y pernos	1
Porcentaje ducto	2
Total	5.7

Fuente: Elaboración Propia con ayuda de Inventor

Se obtiene como carga muerta:

$$P_D = 5.7kg$$

Para la carga viva se toma en cuenta la vibración del ventilador, por lo que se usa como carga viva el peso del ventilador

$$P_D = 4kg$$

Combinación de cargas:

$$1.2P_D + 1.6P_L = 1.2 \cdot 5.7kg + 1.6 \cdot 4kg = 13.2kg$$

Se reparten dichas cargas en los puntos de apoyo, es decir en los agujeros de los pernos, y se obtiene como resultado:

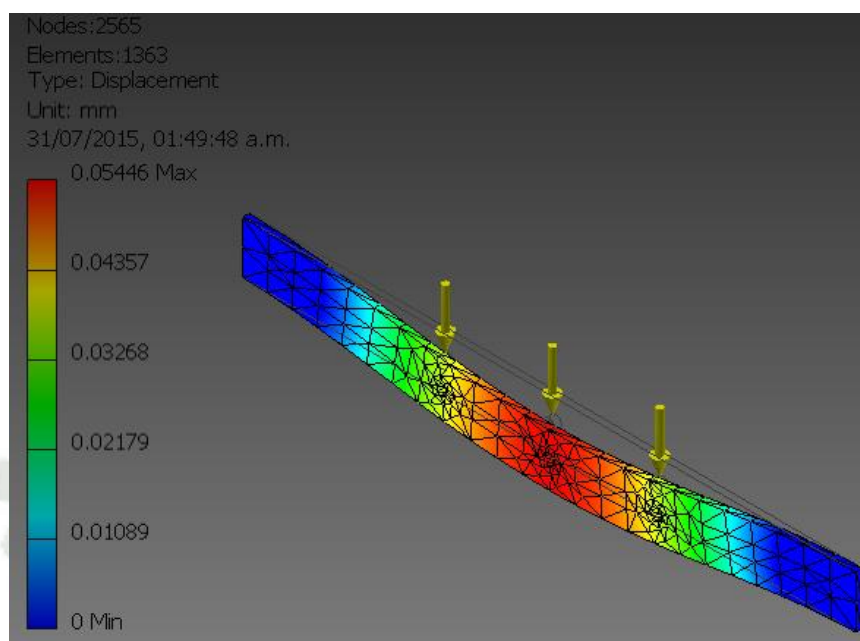


Figura 4-63: Resultado de Desplazamiento

Fuente: Elaboración Propia con ayuda de Inventor

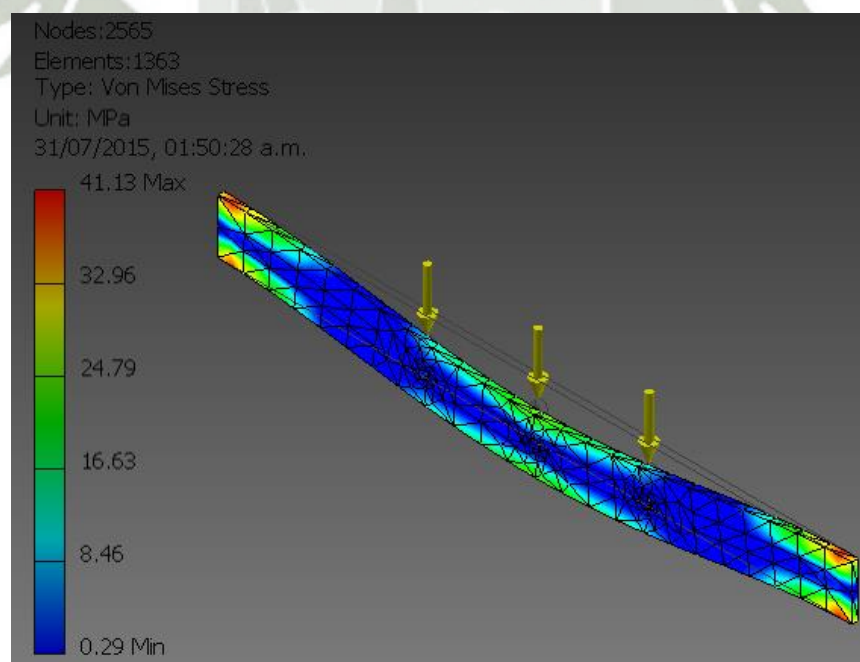


Figura 4-64: Resultado del Esfuerzo de Von Mises

Fuente: Elaboración Propia con ayuda de Inventor

De la simulación se observa que el desplazamiento máximo es 0.05mm, valor que se considera despreciable, así mismo es esfuerzo máximo de Von Mises es 41.13Mpa, que es mucho menor al esfuerzo de fluencia de 207MPa, por lo que la pieza se considera adecuada.

4.5.4. DISEÑO DE SOPORTE DE EVAPORADOR

Para soportar el peso del evaporador completo se usan dos platinas de 300x50x3mm, como se ve en el siguiente corte:

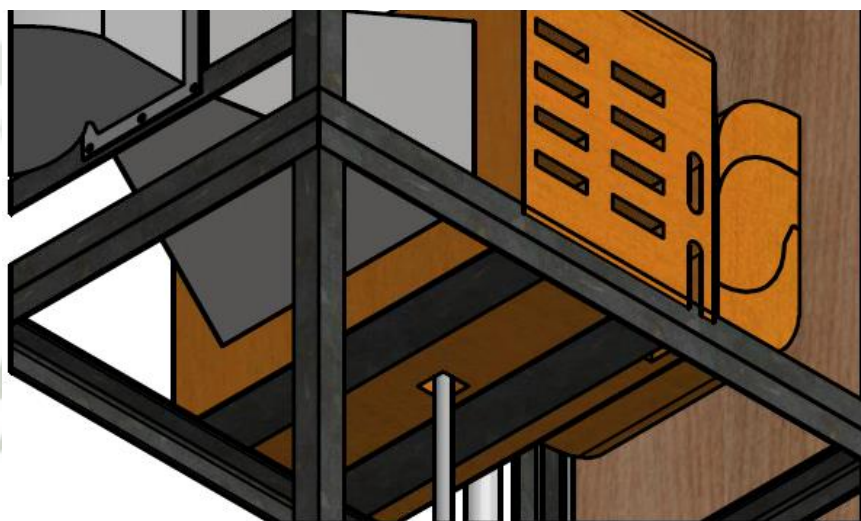


Figura 4-65: Platinas de soporte

Fuente: Elaboración Propia con ayuda de Inventor

Se definen las cargas, primero la carga muerta:

Tabla 4-46: Carga muerta para platina

Elemento	Peso(kg)
Peso del Evaporador	10
Peso Platinas	0.5
Total	10.5

Fuente: Elaboración Propia con ayuda de Inventor

Se obtiene como carga muerta (para dos platinas):

$$P_D = 10.5kg$$

Para la carga viva se toma en cuenta el paso del nitrógeno, es por eso que como carga viva se usa el peso aproximado del nitrógeno.

$$P_D = 0.3kg$$

Combinación de cargas:

$$1.6P_D = 1.6 \cdot 10.5kg = 14.7kg$$

$$1.2P_D + 1.6P_L = 1.2 \cdot 10.5kg + 1.6 \cdot 0.3kg = 13.1kg$$

Se escoge la carga mayor, 14.7kg, esta carga se reparte a lo largo de cada platina, obteniendo una carga distribuida de:

$$P = \frac{14.7kg}{2 * 0.3m * 0.05m} = 490 \frac{kg}{m^2}$$

Se procede a simular la pieza y se obtienen los siguientes resultados:

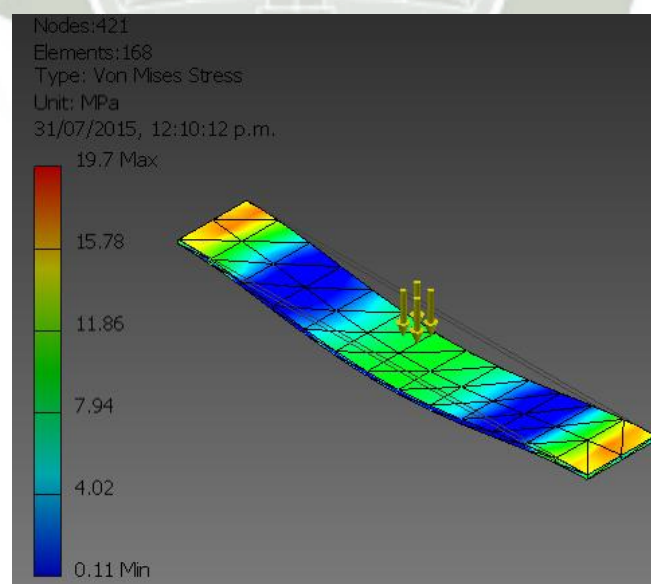


Figura 4-65: Resultado del esfuerzo de Von Mises

Fuente: Elaboración Propia con ayuda de Inventor

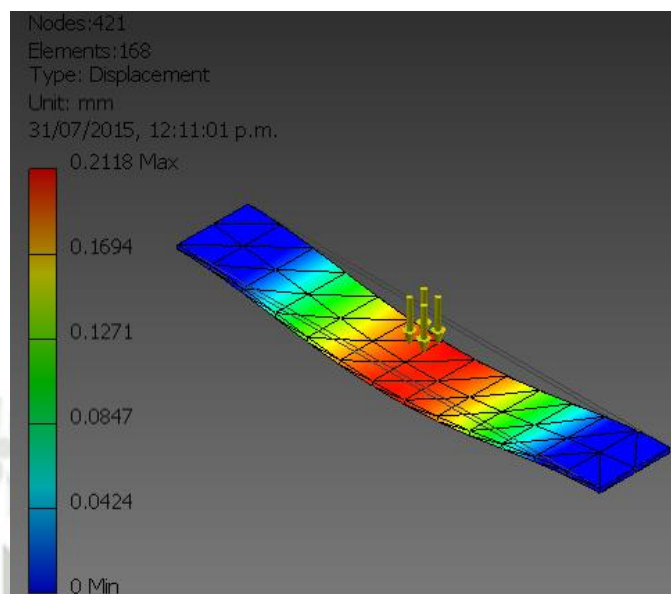


Figura 4-66: Resultado de la deformación

Fuente: Elaboración Propia con ayuda de Inventor

Se observa que la deformación máxima es de 0.2mm que es menor a $L/200$ ($300/200=1.5\text{mm}$), así mismo el esfuerzo de Von Mises máximo es 19.7MPa, que comparado con el esfuerzo de fluencia (207MPa) es despreciable. Por lo que la pieza es adecuada.

4.5.5. DISEÑO DE UNIONES SOLDADAS

4.5.5.1. UNIONES SOLDADAS DE LAS ESTRUCTURAS

El cálculo de soldadura en los nodos se hace mediante la metodología LRFD, y debido a que algunos cálculos son repetitivos, en este ítem, se halla la longitud, espesor de garganta y ubicación general de la soldadura.

Para todas las uniones se usa la carga a la que está sometido el miembro más crítico de la estructura, que es $F_c=0.11\text{klb}$

El espesor efectivo de la garganta en función al material más grueso ($1/8''$) según la tabla del anexo 27 es $1/8''$, es decir el mínimo tamaño de la garganta es:

$$T_e = 1/8''$$

Capacidad de soldadura por pulgada (transversal⁶⁹)

- Resistencia de diseño del metal de aportación⁷⁰:

$$R_{dw} = \Phi F_w A_w = 0.75 \cdot (0.6 \cdot 62.25 \text{ksi}) \cdot 0.125 \text{pulg} \cdot (1 + 0.5 \cdot \text{sen}(90))^{1.5}$$

$$R_{dw} = 5.25 \frac{\text{klb}}{\text{pulg}}$$

Donde: R_{dw} : Resistencia de diseño de soldadura correspondiente al estado límite del material de aporte [klb/pulg]

Φ : Factor de resistencia

F_w : Resistencia nominal del material de aporte [ksi]

A_w : Area efectiva de la sección transversal [pulg²]

- Cálculo base para el primero nodo, que se repite en toda la estructura:

Para una soldadura de 0.6 pulgadas la longitud efectiva es:

$$L_w = L_g - 2w = 0.6 \text{pulg} - 2 \cdot \left(\frac{\frac{1}{8} \text{pulg}}{\text{Sen}(45^\circ)} \right)$$

$$L_w = 0.25 \text{pulg}$$

Entonces la capacidad de dicha longitud es:

$$\text{Capacidad transversal} = 5.25 \frac{\text{klb}}{\text{pulg}} \cdot 0.25 \text{pulg} = 1.31 \text{klb}$$

Dicha capacidad es mucho mayor a la carga crítica (0.11klb) por lo que se considera correcta.

⁶⁹ Se considera que las soldaduras serán de forma transversal y no longitudinal.

⁷⁰ Datos de resistencia a la tracción (62.25ksi) de la soldadura extraída de [52] Anexo 28

4.5.5.2.UNIONES DE ACERO INOXIDABLE

En el presente proyecto se tienen uniones entre acero inoxidable (intercambiador de calor) y unión de acero inoxidable con acero al carbón (revestimiento de la estructura).

Para las conexiones del intercambiador de calor, se utiliza las recomendaciones del manual de *Soldexa* [17]. Primero se escoge el tipo de soldadura a utilizar, con la ayuda de la tabla 4-47.

Tabla 4-47: Procesos recomendados para las soldaduras de metales y aleaciones

PROCESO DE SOLDADURA	Acero dulce bajo carbono -tipos SAE 1010 y 1020	Aceros de mediano carbono -tipos SAE 1030 y 1050	Aceros de baja aleación - tipos SAE 2340, 3145, 4130 y 4350	Aceros austeníticos inoxidables tipos AISI 301, 310, 316 y 347	Aceros ferríticos y martensíticos inoxidables - tipos AISI 405, 410, 430	Aleaciones de alta resistencia y elevada temperatura - tipos 17-14, CuM, 16-25-6 y 19-9 DL	Hierro fundido y hierro gris	Aluminio y aleaciones de aluminio	Magnesio y aleaciones de magnesio	Cobre y aleaciones de cobre	Níquel y aleaciones de alto contenido de níquel	Plata	Oro, platino e iridio	Titanio y aleaciones de titanio
Arco metálico protegido	R	R	R	R	R	R	S	S	NA	NR	R	NR	NR	NA
Arco sumergido	R	R	R	R	S	S	NR	NR	NA	NR	S	NR	NR	NA
Soldadura TIG	S	S	S	R	S	S	S	R	R	R	R	R	R	S
Soldadura MIG	S	S	S	R	S	S	NR	R	S	R	R	S	S	S
Soldadura por Arco con presión	R	R	R	R	S	S	NR	S	NR	S	S	S	S	S
Soldadura por puntos	R	R	R	R	S	S	NA	R	S	S	R	NR	S	S
Soldadura a Gas	R	R	S	S	S	S	R	S	NR	S	S	R	R	NA
Soldadura fuerte al horno	R	R	S	R/S	S	NR	NR	R	NR	S	R	S	S	S
Soldadura fuerte a soplete	S	S	NR	S	S	NR	R	R	NR	R	R	R	R	S

R=Recomendado

S= Satisfactorio

NR= No recomendado

NA=No aplicable

Fuente: Manual de Soldadura - Soldexa

Se selecciona el proceso MIG (Metal Inert Gas) y de la hoja de datos del electrodo se selecciona un alambre MIGFIL 2010Mo (ER316L) (Anexo 49) de 1mm de diámetro.

Para el apuntalamiento se recomienda realizarlo cada 38mm.

Para la unión de la plancha de 1mm que cubre la estructura principal con la estructura se sigue la recomendación del manual [17] (tabla 4-48) y se selecciona el electrodo INOX CW (E310-16) (Anexo 50) de 2mm.

Tabla 4-48: Aplicaciones especiales de electrodos de acero inoxidable

Aplicación	Electrodo Apropriado
- Soldar una pieza de acero inoxidable con otra de acero al carbono.	INOX 29/9, EXA 106 INOXCW, INOX 309 ELC
- Soldar piezas de acero al manganeso.	INOXAW CITORIEL 801
- Soldar acero de herramientas, aceros de mediano y alto contenido de carbono.	INOX 29/9 EXA 106
- Soldar fierro fundido con acero inoxidable.	CITOFONTE - EXANIQUEL Fe
- Soldar aceros de aleación desconocida. INOX 29/9, EXA 106	INOXCW
- Soldar cualquier acero inoxidable, excepto los aceros de bajo contenido de carbono.	INOXCW
- Aceros en general	INOX 29/9, EXA 106

Fuente: Manual de Soldadura - Soldexa

4.5.5.3. UNIONES DE COBRE

Las uniones del serpentín de cobre deben ser resistentes, ya que como se verá en el capítulo 4.6. *ESTRÉS TÉRMICO*, estas uniones deben resistir contracciones térmicas por las bajas temperaturas. La soldadura blanda no es recomendada ya que pierde ductilidad a medida que desciende la temperatura como se evidencia en la siguiente gráfica de resistencia al impacto:

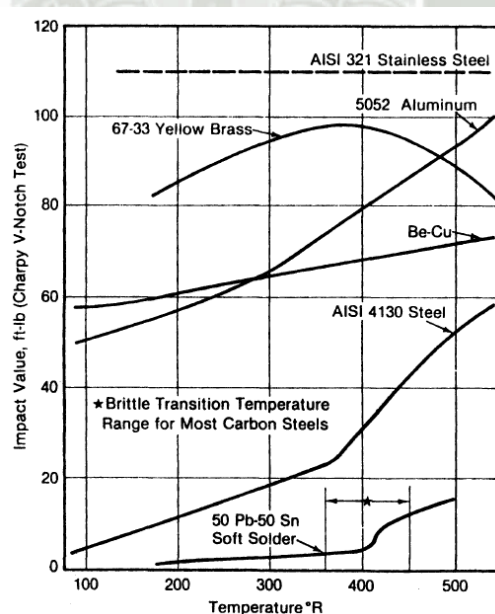


Figura 4-67: Resistencia al impacto de varios metales

Fuente: Cryogenic Engineering, Thomas M. Flynn

Por lo que se escoge las uniones mediante brazing⁷¹ con una varilla plana RODFIL 203B (Anexo 51) de 1.27mm x 3.25mm.

4.6. ESTRÉS TÉRMICO

Elementos en contacto directo con fluidos criogénicos pueden fallar por estrés térmico. El estrés térmico es producido por la contracción térmica de los materiales. Donde dos materiales distintos son unidos, los materiales se contraen de forma diferente cuando son enfriados, y consecuentemente pueden fallar si no se les restringe adecuadamente. El cambio en longitud de un material cuando se enfría puede ser calculado con:

$$\Delta l = \alpha l_0$$

Donde α es el coeficiente global de contracción térmica (o expansión), y l_0 es la longitud inicial. Entre temperatura ambiente y nitrógeno líquido, los valores para algunos materiales comunes se muestran a continuación:

Tabla 4-49: Coeficientes de contracción de materiales estructurales en contacto con LN₂

Aluminum	$\alpha = 0.0039 \text{ in./in.}$
Brass	$\alpha = 0.0035 \text{ in./in.}$
Copper	$\alpha = 0.0030 \text{ in./in.}$
18-8 Stainless steel	$\alpha = 0.0028 \text{ in./in.}$

Fuente: *Cryogenic Engineering*, Thomas M. Flynn

En uniones soldadas, el cordón debe ser lo suficientemente fuerte para soportar el estrés causado por la contracción de los materiales en la unión. Pero la contracción no siempre es mala, ya que, como se verá en el presente proyecto, se puede aprovechar la

⁷¹ La AWS define el brazing a un conjunto de procesos que producen la fusión de materiales, calentándolos hasta temperaturas por encima de 450°C y usando un metal de aporte líquido.

contracción para la unión del serpentín y las aletas, ya que el aluminio tiene un α mayor que el cobre, al enfriarse ambos, el espacio entre los dos tenderá a sellarse.

4.6.1. CONTRACCIÓN EN SECCIONES DEL SERPENTÍN

El serpentín está en contacto directo con el nitrógeno, por lo que se calcula su contracción, por cada sección:

Cada tramo recto del serpentín tiene 254mm de largo por lo que su contracción es:

$$\Delta l = \alpha l_0 = 0.0030 \frac{\text{pulg}}{\text{pulg}} \cdot 250\text{mm} \left(\frac{1\text{pulg}}{25.4\text{mm}} \right) = 0.03 \text{ pulg} = 0.76\text{mm}$$

Por lo que no hay problema con la caja del IC, pues 0.76mm es menor a los 4mm extras que se le dio al serpentín⁷², como se puede ver en la siguiente imagen:

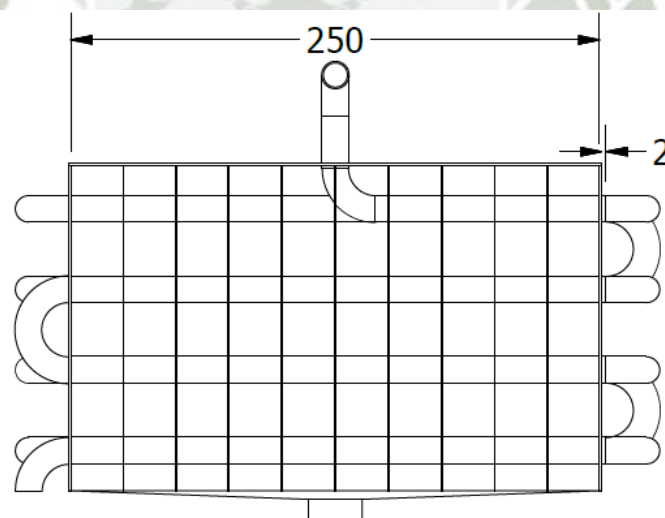


Figura 4-68: Vista frontal el IC

Fuente: Elaboración Propia con ayuda de Inventor

⁷² Se añadió 4mm y no 0.76mm porque, como se ve en la figura, el serpentín no completa la recta en el último tramo.

4.6.2. CONTRACCIÓN EN UNIÓN SERPENTÍN-ALETA

La unión del serpentín con cada aleta no será mediante soldadura, ya que se aprovechará la contracción de los dos elementos para provocar una unión física, aprovechando el mayor coeficiente de contracción del aluminio.

Para el cálculo se sabe que a temperatura ambiente la separación de cada aleta y el serpentín es de 0.3mm, pues el diámetro exterior del tubo es 12.7mm y el diámetro del agujero para las aletas es de 13mm. Pero aun así se asume que la aleta tiene la misma temperatura que el serpentín una vez que el nitrógeno fluye dentro de este.

Si tomamos una muestra del aluminio que rodea a cada tramo del serpentín (imagen 4-69) y se halla su contracción se obtiene:

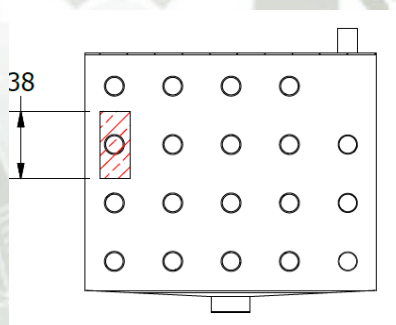


Figura 4-69: Vista de corte de una aleta

Fuente: Elaboración Propia con ayuda de Inventor

$$\Delta l = \alpha l_0 = 0.0039 \frac{\text{pulg}}{\text{pulg}} \cdot 38\text{mm} \left(\frac{1\text{pulg}}{25.4\text{mm}} \right) = 0.006 \text{ pulg} = 0.15\text{mm}$$

Despreciando la contracción radial del tubo de cobre se observa que, si bien no llegan a unirse los tubos, la separación es de 0.075mm a cada lado, algo aceptable ya que si habrá contacto entre los dos materiales.

CAPÍTULO V

COSTOS

En este capítulo se estimará el costo total para la construcción y para la operación de la cámara criogénica. Para el primer punto se sacarán costos por precios unitarios, de acuerdo al metrado de los planos.

5.1.PRESUPUESTO

El metrado de los planos se muestra en el Anexo 44. El análisis de costos unitarios, el resumen del presupuesto y la carta final del presupuesto se muestran en los Anexos 45,46 y 47.

El precio total de fabricación es de aproximadamente US\$ 5,295.00.

A continuación se muestra un resumen del presupuesto:

Tabla 5-1: Resumen de precio de venta de una cámara

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD TOTAL	PRECIO UNITARIO (US\$)	PRECIO PARCIAL (US\$)
1	Módulo 1 y 2	UND	1	2375.31	2375.31
2	Módulo 3	UND	1	732.41	732.41
3	Accesorios Automatización	UND	1	1380.00	1380.00
4	Impuestos	%	1	18%	807.79
				Total (US\$)	5295.5

Fuente: Elaboración Propia

5.2.LIMITACIONES

El presupuesto está limitado por los siguientes puntos:

- No incluye transporte de equipo ensamblado.
- No incluye costos por importación de componentes.
- No se incluye el precio del nitrógeno.

Se debe tomar en cuenta que el tanque de almacenamiento es suministrado por el proveedor de nitrógeno líquido sin ningún costo.

5.3.COSTO POR SESIÓN

En este punto se calcula el costo aproximado de una sesión de crioterapia:

El precio del nitrógeno en el mercado arequipeño es de S/. 12.00 por kilogramo.

Cada sesión tiene un costo de S/. 36.00 en nitrógeno.

La potencia aproximada de los componentes es de 300W, y aproximando 10 sesiones por día, la energía consumida es de 4.5kW/mes, lo que equivale a S/. 4.35 por mes de energía eléctrica.

5.4.RETORNO DE LA INVERSIÓN

En este punto se estudian los posibles escenarios económicos, para el caso de que una clínica deportiva o de rehabilitación quiera comprar la cámara criogénica.

Se detallan primero los costos anuales y según las sesiones por día y el costo por sesión se calculan también los beneficios.

A continuación se presentan los cálculos para el primer caso, que propone una sesión por día y el costo por sesión es de S/. 50.00.

El costo operacional es:

Tabla 5-2: Costo operacional anual

Costo Energía Prom.	S/. 4.35
Costo LN2	S/. 36.00
Sesiones/Día	1
Días/Semana	5
Costo Operacional Anual	S/. 8,692.20
Costo Operacional Anual	\$ 2,707.85

Fuente: Elaboración Propia

Los costos se detallan en el siguiente cuadro⁷³:

Tabla 5-3: Costos generales

Costo Compra	\$ 5,295.51
Costo Montaje	\$ 100.00
Costo Anual Operación	\$ 2,707.85
Costo anual mantenimiento	\$ 200.00
Otros (transporte tanque, marketing)	\$ 841.63

Fuente: Elaboración Propia

Los beneficios se detallan en el siguiente cuadro:

Tabla 5-4: Ingresos

Ingreso por Sesión	S/. 50.00
Sesiones/Día	1.00
Días/Semana	5.00
Ingreso Anual	S/. 12,000.00
Ingreso Anual	\$ 3,738.32

Fuente: Elaboración Propia

Finalmente se tabula el acuminado del flujo neto dentro de la empresa:

⁷³ Para los costos de transporte, marketing, etc. Se asumió el 10% del costo de operación, montaje y mantenimiento.

Tabla 5-5: Tabla de flujo neto acumulado

Periodo	Ingresos	Egresos	Flujo Neto	Acumulado
0		\$5,395.51	\$5,395.51	\$5,395.51
1	\$3,738.32	\$3,208.64	\$529.68	\$4,865.83
2	\$3,738.32	\$3,208.64	\$529.68	\$4,336.15
3	\$3,738.32	\$3,208.64	\$529.68	\$3,806.46
4	\$3,738.32	\$3,208.64	\$529.68	\$3,276.78
5	\$3,738.32	\$3,208.64	\$529.68	\$2,747.10
6	\$3,738.32	\$3,208.64	\$529.68	\$2,217.42
7	\$3,738.32	\$3,208.64	\$529.68	\$1,687.73
8	\$3,738.32	\$3,208.64	\$529.68	\$1,158.05
9	\$3,738.32	\$3,208.64	\$529.68	\$628.37
10	\$3,738.32	\$3,208.64	\$529.68	\$98.69
11	\$3,738.32	\$3,208.64	\$529.68	\$431.00
12	\$3,738.32	\$3,208.64	\$529.68	\$960.68

Fuente: Elaboración Propia

Para el cálculo del periodo de retorno se interpola en el punto de paso de negativo⁷⁴ a positivo del acumulado:

$$PR = 10 + \frac{98.69}{98.69 + 431.00} = 10.19$$

Entonces el periodo de retorno para una sesión por día y S/. 50.00 por sesión es de 10.19 años, lo que es un valor muy alto, por lo que se realizan los mismos cálculos para diferentes escenarios, los resultados se muestran en la siguiente tabla:

⁷⁴ En la tabla 5-5, los valores de color rojo son negativos.

Tabla 5-6: Tabulación de diferentes escenarios

Número de sesiones por día	Costo por sesión (S/.)		Costo por sesión (US\$)	TR (Años)
1	S/.	50.00	\$ 15.58	10.19
	S/.	60.00	\$ 18.69	4.22
	S/.	70.00	\$ 21.81	2.66
2	S/.	50.00	\$ 15.58	4.13
	S/.	60.00	\$ 18.69	1.93
	S/.	70.00	\$ 21.81	1.26
3	S/.	50.00	\$ 15.58	2.59
	S/.	60.00	\$ 18.69	1.25
	S/.	70.00	\$ 21.81	0.82
4	S/.	50.00	\$ 15.58	1.88
	S/.	60.00	\$ 18.69	0.92
	S/.	70.00	\$ 21.81	0.61
5	S/.	50.00	\$ 15.58	1.48
	S/.	60.00	\$ 18.69	0.73
	S/.	70.00	\$ 21.81	0.49

Fuente: Elaboración Propia

De la tabla se puede estudiar el tiempo esperado de retorno según el costo por sesión que pagará el usuario. Se propone que un periodo de 1.25 años y un costo de S/. 60.00 por sesión es aceptable.

CAPÍTULO VI

AUTOMATIZACIÓN

El tema de la automatización se toca superficialmente en la presente tesis, aplicando recomendaciones para un posible sistema de control.

6.1.METAS DE LA AUTOMATIZACIÓN

El proceso de automatización de la sesión de crioterapia tiene por metas:

- Controlar el suministro de nitrógeno líquido desde el tanque de almacenamiento hasta el intercambiador de calor.
- Controlar el encendido y apagado del ventilador centrífugo que suministra aire a la cámara.
- Controlar el encendido y apagado del ventilador helicocentrífugo que extrae los gases remanentes al final de cada sesión.
- Garantizar la seguridad del usuario con el uso de un sensor de oxígeno en la parte superior de la cámara.
- Controlar el tiempo de cada sesión (máximo 3 minutos).
- Controlar la iluminación de la cámara.

6.2.PARTES DE LA MÁQUINA QUE INTERVIENEN EN LA AUTOMATIZACIÓN

- a. Válvula Solenoide (VS)
- b. Ventilador Centrifugo (Vent C)
- c. Ventilador Helicocentrífugo (Vent HC)
- d. Sensor de Oxígeno (SO)
- e. Sensor de Temperatura (STemp)
- f. Iluminación (I)
- g. Consola de Control (Cc):

Entradas: pulsador inicio de sesión, pulsador parada de emergencia/reset, pulsador iluminación, pulsador para desecación (Giro únicamente del ventilador Vent C, para condensar la humedad congelada del serpentín), pulsador para extracción de gases, sensor de oxígeno y sensor de temperatura.

Salidas: Luz de indicación (Inicio de suministro de LN₂, válvula abierta y ventilador centrifugo girando), Luz de indicación (Sesión culminada, cierre de válvula y paro del ventilador), Indicación con luz de inicio de extracción de vapores remanentes (El ventilador helicocentrífugo gira), Luz de indicación (Nivel de oxígeno por debajo del mínimo permitido), Luz de indicación (Ventilador centrifugo funcionando para desecación) Temperatura en Pantalla, Ventilador centrifugo, ventilador helicocentrífugo y válvula solenoide.

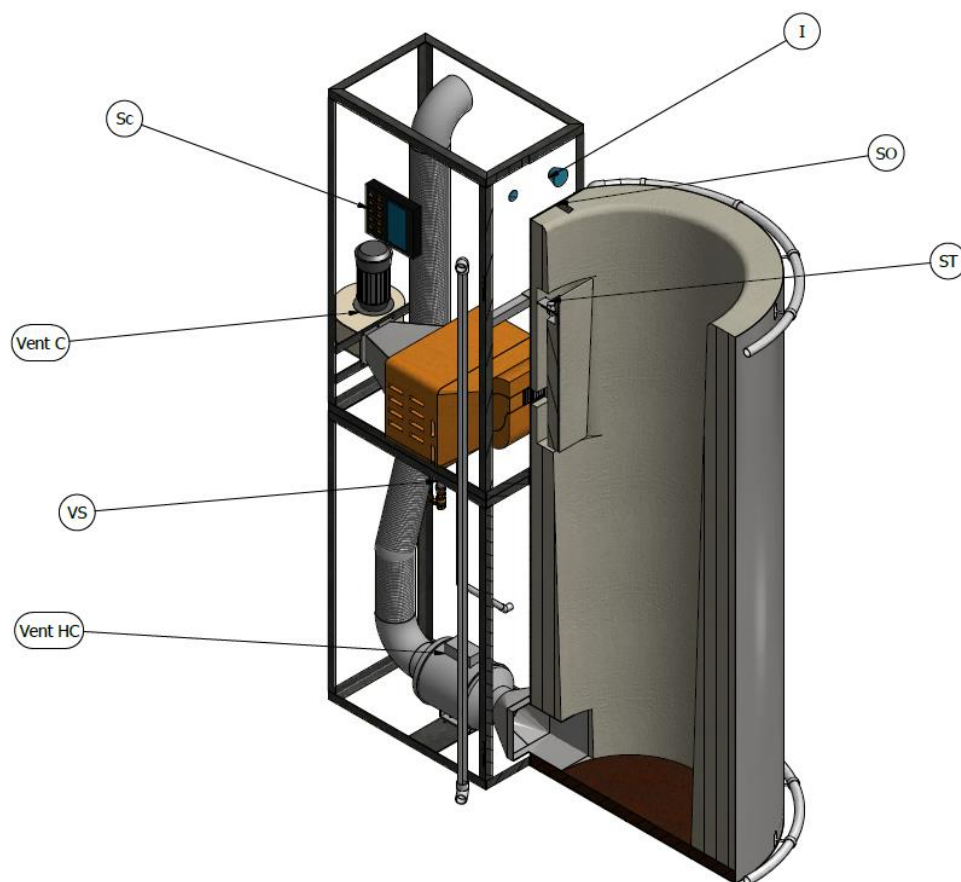


Figura 6-1: Vista Isométrica en corte de la cámara con accesorios de automatización

Fuente: Elaboración Propia con ayuda de Inventor

Tabla 6-1: Lista de Piezas que intervienen en la Automatización

Número de Piezas	Denominación	Marca
1	Válvula solenoide	VS
1	Ventilador Centrifugo	Vent C
1	Ventilador Helicocentrífugo	Vent HC
1	Sensor de Oxígeno	SO
1	Sensor de Temperatura	S Temp
2	Iluminación	I
1	Consola de control	Cc

Fuente: Elaboración Propia con ayuda de Inventor

6.3. SELECCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE

El proceso de funcionamiento de la cámara criogénica, tiene 6 entradas y 10 salidas, por lo que se selecciona, con ayuda del software TWIDO SUITE⁷⁵, el PLC TWIDO modelo TWDLCAA24DRF (24E/S) cuya tensión de alimentación es de 230V CA, 14 entradas de 24V CC y 10 salidas de relé 2A. Los datos complementarios se muestran en el Anexo 40.

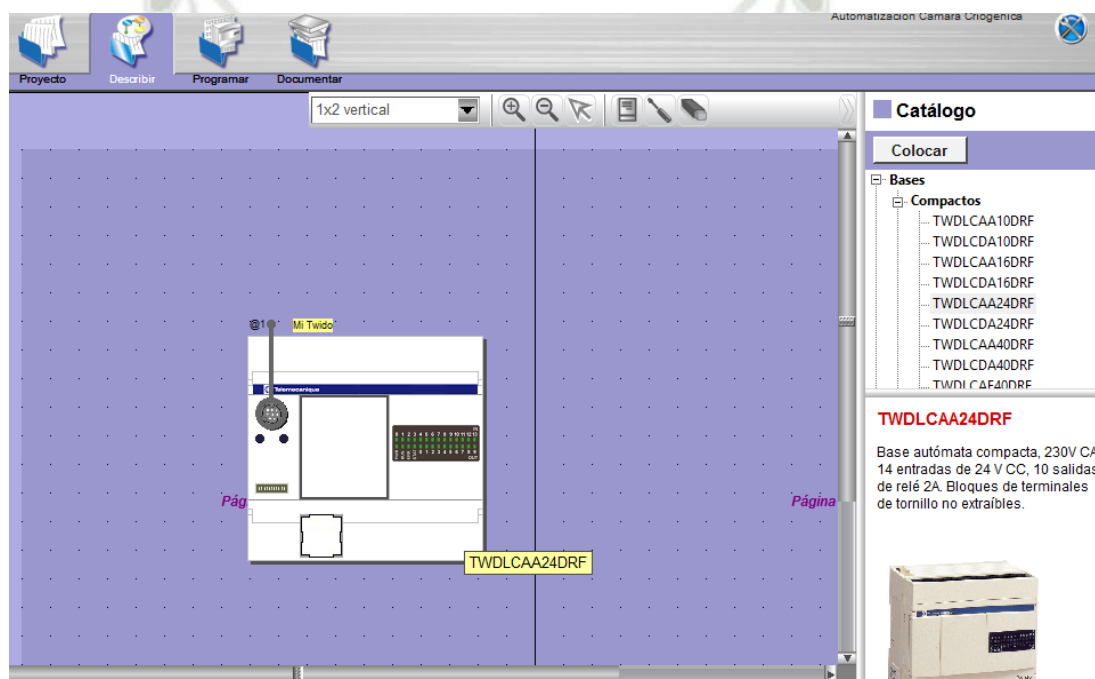


Figura 6-2: PLC TWIDO modelo TWDLCAA24DRF (24E/S)

Fuente: Elaboración Propia con ayuda de TWIDO SUITE

⁷⁵ TWIDO SUITE es un software de control, supervisión y simulación de programas de PLC. Para más información visitar: <http://www.schneider-electric.com/products/ar/ls/5100-software/5140-pac-software-de-programacion-plc/1453-twidosuite/>

6.4. PARÁMETROS DE DISEÑO DEL CONTROL AUTOMÁTICO

6.4.1. ENTRADAS DEL SISTEMA A CONTROLAR

Se tienen 6 entradas al sistema:

- El botón de INICIO que es un contacto normalmente abierto.
- El botón de STOP/RESET que es un contacto normalmente cerrado.
- El botón de ON/OFF ILUMINACIÓN que son contactos NA y NC respectivamente.
- Los dos sensores que actúan son el sensor de oxígeno (SO) y el sensor de temperatura (S TEMP), el primero se ubica en la parte superior de la cámara del usuario y el segundo en la entrada de la mezcla Aire-N₂ a la cámara.
- El botón INICIO SECADO que enciende el ventilador centrífugo (Vent C) (únicamente) es un contacto NA.
- El botón INICIO EXTRACCIÓN DE GASES que enciende el ventilador helicocentrífugo (Vent HC) es un contacto NA

La lista de entradas se resume en la siguiente tabla:

	En uso	Dirección	Símbolo
	☒	%I0.0	STOP_RESET
	☒	%I0.1	INICIO
	☒	%I0.2	ON_ILUMINACIÓN
	☒	%I0.3	SO
	☒	%I0.5	INICIO_SECADO
	☒	%I0.6	INICIO_EXTRACCION_
	☒	%I0.7	OFF_ILUMINACIÓN
	☒	%I0.8	S_TEMP

Figura 6-3: Entradas del PLC

Fuente: Elaboración Propia con ayuda de TWIDO SUITE

6.4.2. SALIDAS DEL SISTEMA A CONTROLAR

Se tienen 10 salidas en el sistema:

- Una salida que activa el ventilador centrífugo (Vent C)
- Una salida que activa el ventilador helicocentrífugo (Vent HC) de extracción de gases.
- Una salida que activa la válvula solenoide (VS)
- Una salida que prende y apaga la iluminación LED de la cámara.
- Una salida que muestra la temperatura actual de la cámara.
- 5 luces indicadores de: inicio de sesión, fin de sesión, inicio de extracción de gases, inicio de desecación y nivel de oxígeno muy bajo.

La lista de entradas se resume en la siguiente tabla:

☒	%Q0.0	VENT_C
☒	%Q0.1	VAL_SOLENOIDE
☒	%Q0.2	ILUMINACIÓ_LED
☒	%Q0.3	LUZ_FALTA_OXÍGENO
☒	%Q0.4	VENT_HC
☒	%Q0.5	LUZ_INICIO_SESIÓN
☒	%Q0.6	LUZ_EXTRACCION_GA
☒	%Q0.7	LUZ_DESECADO
☒	%Q0.8	DISPLAY_TEMPERAT
☒	%Q0.9	LUZ_DE_EQUIPO_EN_

Figura 6-4: Salidas del PLC

Fuente: Elaboración Propia con ayuda de TWIDO SUITE

6.4.3. DEFINICIÓN DE SÍMBOLOS

Tabla 6-2: Direcciones de Entrada y Salida

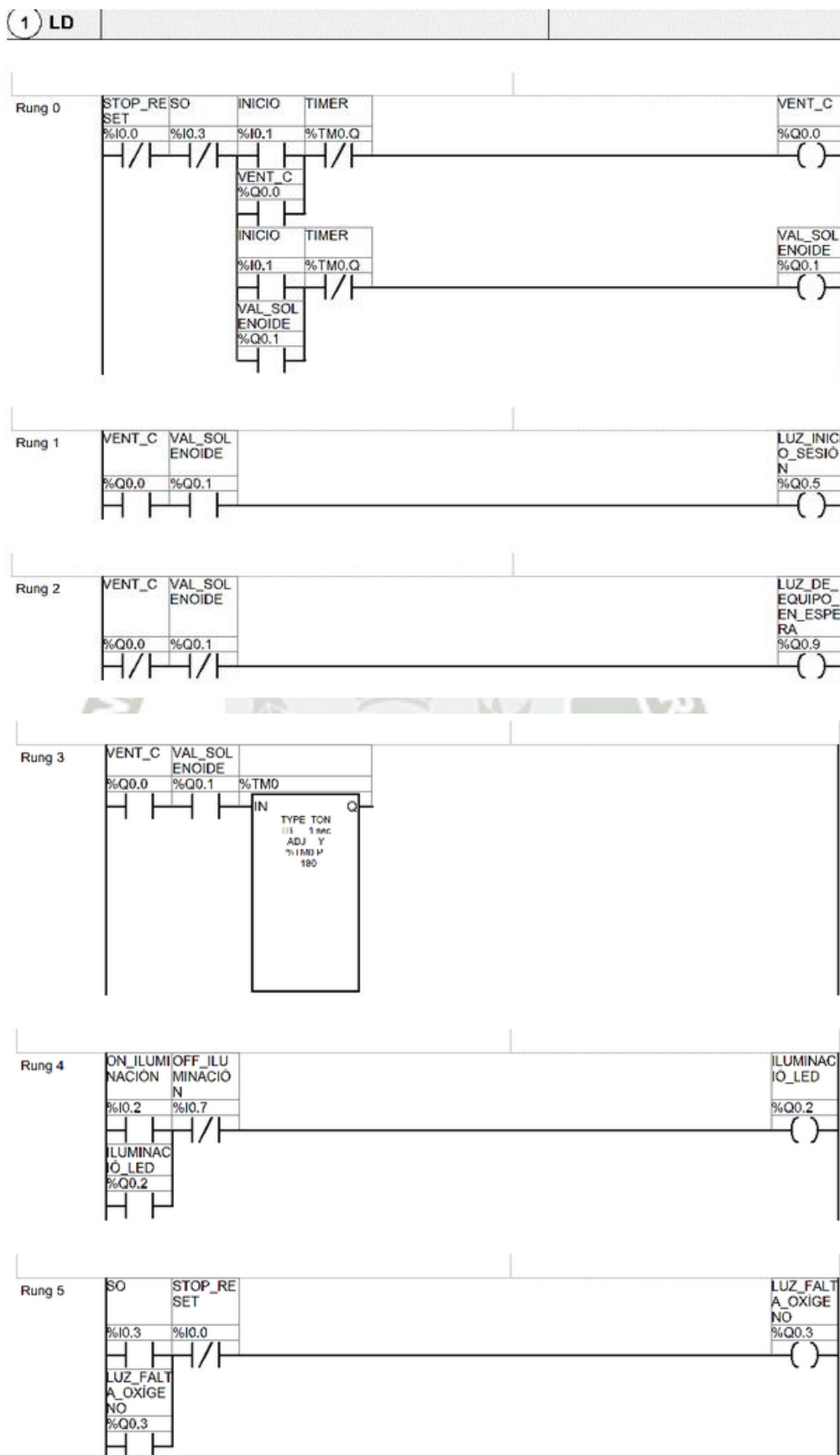
Dirección	Símbolo	Comentario
%Q0.8	DISPLAY_TEMPERA TURA	Display que permite ver la temperatura en tiempo real
%Q0.2	ILUMINACIÓN_LED	Salida que permite iluminar la cámara del usuario
%I0.1	INICIO	Pulsador que hace girar al ventilador centrífugo y abre la válvula solenoide
%I0.6	INICIO_EXTRACCIÓN N_GASES	Pulsador que hace girar el ventilado helicocentrífugo y prende la luz de indicación de dicho proceso
%I0.5	INICIO_SECADO	Pulsador que hace girar únicamente al ventilador centrífugo y prende la luz que indica que dicho proceso está activo
%Q0.7	LUZ_DESECADO	Salida que prende la luz de secado
%Q0.9	LUZ_DE_EQUIPO_E N_ESPERA	Salida que prende la luz de equipo en espera o listo para trabajar
%Q0.6	LUZ_EXTRACCIÓN_ GASES	Salida que prende la luz que indica que se están extrayendo los gases remanentes de la cámara
%Q0.3	LUZ_FALTA_OXÍGE NO	Luz que indica que el nivel de oxígeno ha caído por debajo del mínimo permisible para un ser humano
%Q0.5	LUZ_INICIO_SESIÓN	Luz que indica que ha iniciado una sesión de 3 minutos
%I0.7	OFF_ILUMINACIÓN	Pulsador que apaga la iluminación de la cámara
%I0.2	ON_ILUMINACIÓN	Pulsador que prende la iluminación de la cámara

%I0.3	SO	Entrada del sensor de oxígeno
%I0.0	STOP_RESET	Pulsador de parada de emergencia y de reseteo cuando se activa el sensor de oxígeno
%I0.8	S_TEMP	Entrada del sensor de temperatura
%TM0.Q	TIMER	Temporizador
%Q0.1	VAL_SOLENOIDE	Salida que abre la válvula solenoide
%Q0.0	VENT_C	Salida que enciende el ventilador centrífugo
%Q0.4	VENT_HC	Salida que enciende el ventilador helicocentrífugo

Fuente: Elaboración Propia

6.5.PROGRAMA DE CONTROL, SUPERVISIÓN Y SIMULACIÓN CON EL SOFTWARE TWIDO SUITE

El control se ha diseñado para que sea un proceso de control semi-automático:



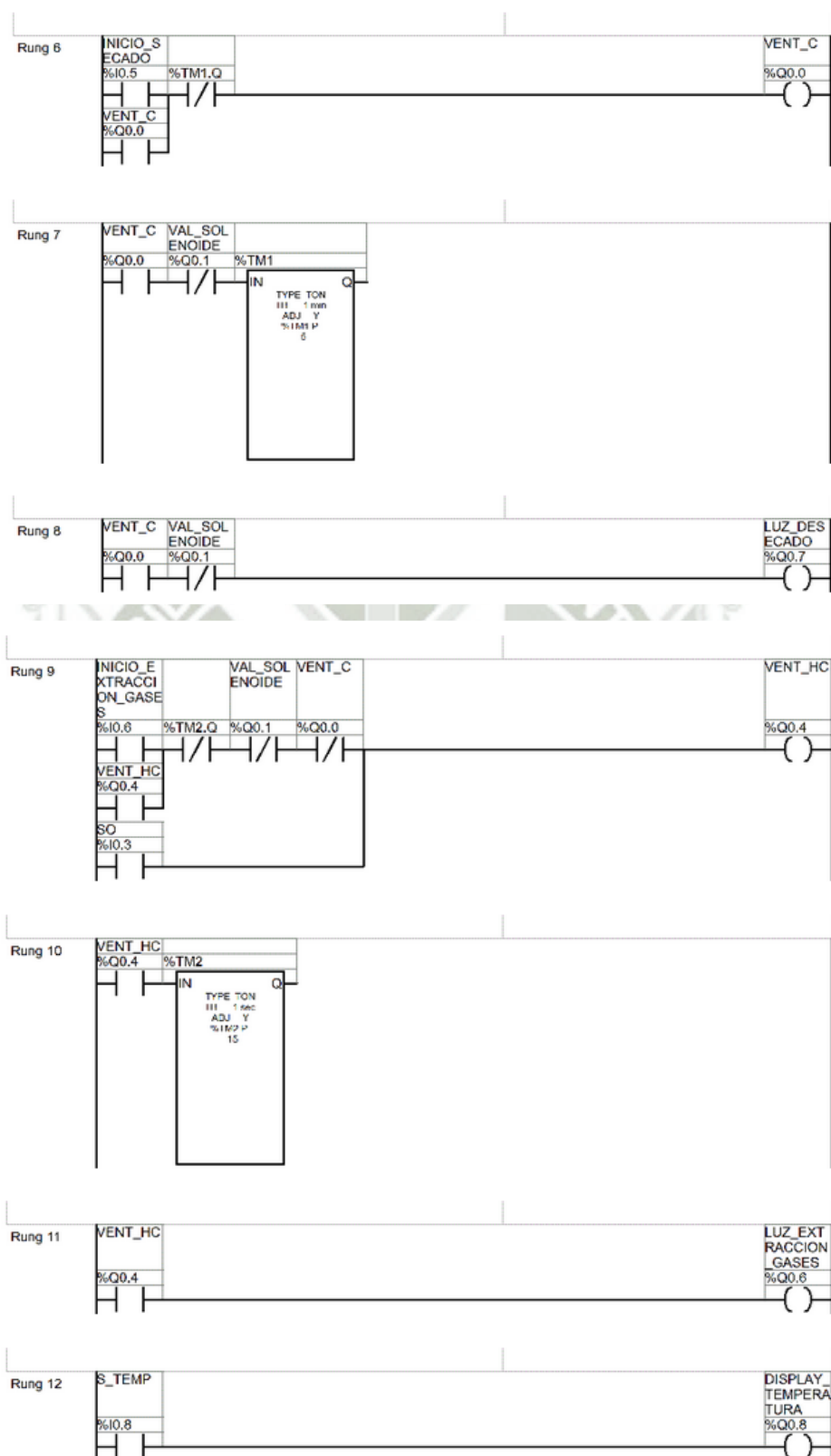


Figura 6-5: Programa Ladder para el control y supervisión del sistema

Fuente: Elaboración Propia con ayuda de TWIDO SUITE

6.5.1. EXPLICACIÓN DEL PROGRAMA DE CONTROL

En el panel de control se pulsa el botón de inicio, abriendo la válvula solenoide y encendiendo el ventilador centrífugo, lo que permite que fluya nitrógeno hacia el evaporador y al mismo tiempo fluya aire por el exterior del serpentín, hay un temporizador que inicia su conteo cuando se enciende el ventilador y se abra la válvula, al llegar a los 3 minutos abre un contactor que para la sesión.

Si durante la sesión el sensor de oxígeno se enciende, automáticamente se detiene el suministro de aire y nitrógeno y al mismo tiempo el ventilador de extracción de gases se enciende. Así mismo si sucediese alguna eventualidad, existe un botón de paro de emergencia que detiene el suministro de nitrógeno y aire hacia la cámara.

También hay un pulsador que inicia el desecado del serpentín, el cual enciende únicamente el ventilador centrífugo de aire y deja la válvula solenoide cerrada, este proceso se controla por un temporizador seteado a 5 minutos. Pasado el tiempo se detiene el ventilador y se puede iniciar nuevamente.

Hay otro pulsador que puede activarse según el criterio del operador, que enciende el ventilador helicocentrífugo y extrae los vapores remanentes de la cámara hacia el exterior, este ventilador solo funcionara si el ventilador centrífugo y la válvula solenoide están apagados.

Finalmente el sensor de temperatura indicará la temperatura en tiempo real mediante un display.

CAPÍTULO VII

SEGURIDAD EN SISTEMAS CRIOGÉNICOS

La experiencia ha demostrado que los fluidos criogénicos pueden ser usados con seguridad tanto en ambientes industriales como en laboratorios sofisticados, siempre y cuando los sistemas estén apropiadamente diseñados y el personal que maneja los fluidos esté correctamente capacitado. Los aspectos generales del manejo de estos fluidos pueden ser divididos en cuatro categorías:

1. Fisiológicos
2. Compatibilidad con materiales
3. Explosiones e inflamabilidad
4. Presión excesiva

A continuación se discutirá solo la primera categoría, ya que la compatibilidad ya se discutió en el capítulo de diseño, y el riesgo por explosión y presión excesiva es mínimo.

7.1.RIESGOS FISIOLÓGICOS

7.1.1. CONGELACIÓN

Congelación severa puede ocurrir cuando el cuerpo humano entra en contacto con superficies enfriadas por líquidos criogénicos. El daño al tejido o piel es similar al ocasionado por una quemadura. Debido a que el cuerpo está compuesto

principalmente por agua, la baja temperatura congela el tejido, dañándolo y destruyéndolo.

Ropa protectora debe ser usada para aislar al cuerpo (ver figura 7-1)



Figura 7-1: Equipo de protección personal común para manipular fluidos criogénicos

Fuente: Cryogenic Engineering, M. Flynn

Independientemente del equipo de protección personal que se use, la idea es prevenir contacto directo entre la piel y una superficie o fluido fríos. De suceder lo anterior, el único primer auxilio es sumergir el área afectada en agua tibia. No sobar o masajear las partes afectadas bajo ninguna circunstancia, se puede identificar una congelación de piel por su apariencia blanqueza, como de piel muerta. Un congelamiento de piel debe recibir atención médica.

La hoja de seguridad para el nitrógeno líquido proporcionada por *Air Products*, se puede observar en el Anexo 48.

7.1.2. ASFIXIA POR NITRÓGENO

Cuando se manipule líquidos criogénicos es necesario que sea hecho con dos personas como mínimo, en espacios confinados será necesario que se monitoree continuamente el contenido de oxígeno presente, pues este no puede ser ni muy bajo ni muy alto (16-25% es aceptable).

Debido a que el nitrógeno es un gas incoloro, inodoro e inerte, la persona en contacto con dicho gas debe estar al tanto de los peligros relacionados a la asfixia. En la tabla 7-1 se muestran los peligros respiratorios de una atmosfera enriquecida en nitrógeno:

Tabla 7-1: Peligros respiratorios de la falta de oxígeno

% de oxígeno	Efectos
19,5/16	Sin efectos visibles.
16/12	Incremento de la respiración. Latidos acelerados. Atención, pensamientos y coordinación dificultosa.
14/10	Coordinación muscular dificultosa. Esfuerzo muscular que causa rápida fatiga. Respiración intermitente.
10/6	Náuseas, vómitos. Incapacidad para desarrollar movimientos o pérdida del movimiento. Inconsciencia seguida de muerte.
por debajo	Dificultad para respirar. Movimientos convulsivos. Muerte en minutos.

Fuente: Cryogenic Engineering, M. Flynn

CONCLUSIONES

1. Se demostró los beneficios que traen las sesiones de crioterapia al cuerpo humano, y en especial de deportistas. Así mismo se logró demostrar los mayores beneficios que trae la crioterapia comparada con los métodos usados actualmente, como son los baños en agua helada o compresas heladas.
2. Se logró desarrollar los cálculos energéticos con éxito. Siendo el desafío más grande hallar el coeficiente de transferencia de calor externo, por la cantidad de variables que implica su cálculo.
3. El tiempo de recuperación de la inversión por parte de por ejemplo una clínica de rehabilitación, varía dependiendo de cuanto desea cobrar por cada sesión y del número de clientes. La recomendación en la presente tesis es un precio de S/. 60.00 por sesión, lo que equivale a un periodo de recuperación de entre 1.25 a 1.5 años.
4. El programa ladder que se diseñó para automatizar todo el proceso trabajó sin problemas en el simulador, por lo que se consideró apropiado para controlar todo el proceso.
5. La manera de construir la cámara criogénica se muestra claramente en los planos adjuntos, donde se desarrolla el detalle de la fabricación de cada elemento.

RECOMENDACIONES

1. Buscar softwares de simulación térmica para poder simular la evaporación del LN_2 , pues como se vio en el presente proyecto, Autodesk Simulation no tenía en sus bases al nitrógeno líquido saturado. Logrando así confirmar los cálculos matemáticos.
2. Buscar la forma más económica de implementar el sistema de automatización diseñado, pues como se vio en el presupuesto, el valor de construcción de la cámara es de aproximadamente US\$5,295.00 o S/.16,997.00. Buscando reducir el precio de venta de la máquina.
3. Se podría mejorar la estética de la cámara buscando la forma de introducir el ventilador de suministro de aire, dentro de la estructura, pero esto a costa de hacer más grande la estructura.
4. Al momento de manipular el tanque de nitrógeno líquido se deben seguir todos los procedimientos que la empresa que suministra los tanques mande, pues como se vio en el capítulo de seguridad, el nitrógeno es una sustancia peligrosa si no se toman las medidas de seguridad apropiadas.
5. Buscar la opinión de especialistas en el rubro de la rehabilitación, que tengan experiencia en cámaras criogénicas, desafortunadamente en nuestro país no hay a la fecha profesionales en dicho rubro, ya que la tecnología de cámaras criogénicas no ha llegado al Perú.
6. Para la puesta en marcha del equipo, se recomienda establecer como presión inicial del tanque de LN_2 , 36kPa. Y a partir de esa presión ir subiendo hasta lograr la temperatura calculada en la cámara (-100°C).

BIBLIOGRAFÍA

LIBROS

- [1] AISC. *Manual of Steel Construction LRFD*. 2ª ed. Illinois. American Institute of Steel Construction. 1994. 1993p
- [2] CENGEL, Yunus y Afshin GHAJAR. *Transferencia de calor y masa*. 4ª ed. Mexico D.F. McGrawHill. 2011. 920p.
- [3] FLYNN, Thomas M. *Cryogenic Engineering*. 2da Ed. Colorado. 2005. Marcel Dekker. 890p.
- [4] GONZALES, Rogelio. *Criogenia: Cálculo de equipos, Recipientes a presión*. Madrid. Díaz de Santos. 2013. 870p.
- [5] GORDILLO, Carlos. *Refrigeración*. Arequipa. Universidad Católica de Santa María. 2013. 417p.
- [6] GORDILLO, Carlos. *Termodinámica I*. Arequipa. Universidad Católica de Santa María. 2011. 400p.
- [7] HASLAM, Roger. *An evaluation of models of human response to hot and cold environments*. Loughborough. Loughborough University. 1989. 370p
- [8] MIRANDA, Ángel. *Evaporadores*. Barcelona. CEAC. 1997. 120p.
- [9] MIRANDA, Ángel. *Procesos de Vaporización*. Barcelona. CEAC. 1997. 134p.
- [10] Ministerio de Vivienda del Perú. *Reglamento Nacional de Edificaciones*. 4ª ed. Lima. Megabyte. 703p.
- [11] PANERO Julius y Martin ZELNIK, *Las dimensiones humanas en los espacios interiores*. México D.F. G. Giii. 1996. 315p.
- [12] PITA, Edward. *Acondicionamiento de Aire*. 2ª ed. México D.F. SECSA. 300p.
- [13] PUCP. *Normas para la Presentación de Tesis e Informe Profesional*. Lima. PUCP. 2000. 21p.

- [14] PYSMENNY, Yevgen. *Manual para el Cálculo de Intercambiadores de Calor y Bancos de tubos aletados*. México DF. REVERTÉ. 2007. 196p.
- [15] ROYO Carnicer. *Aire Acondicionado*. México D.F. Thomson. 2010. 400p.
- [16] STOECKER, Wilbert F. *Industrial Refrigeration Handbook*. California. McGrawHill. 687p.
- [17] SOLDEXA, *Manual de Soldadura & Catálogo de Productos*. 7ª ed. Lima. SOLDEXA. 2005. 287P
- [18] VICENTE, Antonio. *Refrigeración, congelación y envasado de alimentos*. México D.F. Mundi Prensa. 1994. 303p.
- [19] VINNAKOTA, Sriramulu. *Estructuras de Acero – Comportamiento y LRFD*. California. Mc Graw Hill. 2006. 904p.

PAPERS

- [20] BANFI, Giuseppe y otros. *Whole-Body Cryotherapy in Athletes*. Milan. IRCCS. 2010. 9p.
- [21] BLEAKLEY Chris. *Whole-Body cryotherapy: empirical evidence and theoretical perspectives*. Paris. Dove Medical Press. 2014. 12p.
- [22] CHIEREGATO, Matheus y otros. *Análise Biomecânica dos Efeitos da Crioterapia no Tratamento da Lesão Muscular Aguda*. San Pablo. Sociedade Brasileira de Medicina do Esporte. 2007. 4p.
- [23] CHRISTIANSON, Alan. *Clinical Relevance of Whole Body Cryotherapy*. USA. Lifestreammed. Sin fecha. 11p.
- [24] DEL VALLE, Victor y otros. *Análisis de modelos para la determinación del coeficiente de transferencia de calor en el flujo a dos fases*. Mexico D.F. Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares. 1993. 8p.
- [25] GIMENEZ Romeo y otros. *Simulación de la Transferencia de calor en Seres Humanos*. Zaragoza. Fundación CIRCE. 2000. 19p.

- [26] KLIMEK, Andrzej y otros. *Influence of ten sessions of whole body cryostimulation on aerobic and anaerobic capacity*. Varsovia. International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health. 2010. 9p.
- [27] LYUBCHENKO, Kherson. *Patente: Cryosauna US2013/0025302 A1*. Washington. 2013. 6p.
- [28] SUTKOWY, Powel y otros. *Single Whole-Body Cryostimulation Procedure versus Single Dry Sauna Bath: Comparison of Oxidative Impact on Healthy Male Volunteers*. Varsovia. BioMed Research International. 2014. 7p.
- [29] VAN SCIVER, Steven PhD. *Course: Cryogenic Convection Heat Transfer*. Boston. USPAS. 2010. 37p.
- [30] YIN J. y A. M. JACOBI, *Condensate Detention Effects on the Air-Side Heat Transfer Performance of Plain and Wavy-Louvered Heat Exchangers*. Illinois. Mechanical & Industrial Engineering Dept. 2000. 111p
- [31] ZIEMANN Ewa y otros. *Five-Day Whole Body Cryostimulation, Blood Inflammatory Markers, and Performance in High-Ranking Professional Tennis Players*. Varsovia. Gdansk University of Physical Education and Sport. 2012. 9p
- [32] ZIMMER, Krzysztof. *Sports Medicine, physiotherapy, rehabilitation*. Bucarest. Magazine Sport Wyczynowy. 2003. 6p.

PÁGINAS WEB

- [33] <http://www.deflecto.com/>
- [34] <http://www.inaoep.mx/~dferrus/DewarsLN2-CRIOGAS.pdf>
- [35] <http://www.hvm-li.com/en/prodotti-linea-industriale.html>
- [36] <http://www.saunacriogenica.com/crioterapia/la-criosauna-krion/>
- [37] <http://www.cryoniq.com/en/what-is-a-cryosauna/>
- [38] <http://www.healthycold.com/cryo-therapy/>

- [39] <http://lifeofmillennium.com/cryotherapy.php>
- [40] <http://www.sodeca.com/>
- [41] http://www.vita-technika.ru/price/krio_ter/kriosayna/cherteg.html
- [42] <http://www.criotec.fr/cryosauna-cryotherapy-criotec-en.php>
- [43] <http://cryomagix.com/pdf-files.html>
- [44] <http://www.cob-industries.com/accufreeze.aspx>
- [45] <http://www.sc.ehu.es/nmwmigaj/CartaPsy.htm>
- [46] <http://www.cryomeditalia.it/>
- [47] <http://www.solerpalau.es/producto.html>
- [48] <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/5533/memoria.pdf>
- [49] <https://marcanord.files.wordpress.com/2013/01/viscosidad-rdmc.pdf>

ANEXOS

ANEXO 1: Ecuaciones para obtener la entalpía de saturación en función de la temperatura [9]

APÉNDICE 1

Ecuaciones para obtener la entalpía de saturación en función de la temperatura, para la presión atmosférica estándar

Para $0 \leq t < 10$ °C

$$h_s = 9,473 + 1,6785 t + 0,03094 t^2$$

Para $10 \leq t < 20$ °C

$$h_s = 11,873 + 1,2117 t + 0,05362 t^2$$

Para $20 \leq t < 30$ °C

$$h_s = 27,385 - 0,3159 t + 0,09122 t^2$$

Para $30 \leq t < 40$ °C

$$h_s = 86,671 - 4,2229 t + 0,15558 t^2$$

Para $40 \leq t < 50$ °C

$$h_s = 280,035 - 13,7938 t + 0,2740 t^2$$

ANEXO 2: Data sheet de seguridad del Nitrógeno Líquido

THE LINDE GROUP <i>Linde</i>	
Safety data sheet Nitrogen, refrigerated, liquid.	
Creation date : 27.01.2005 Revision date : 20.12.2010	Version : 3.0 DE / E SDS No. : 8348 page 1 / 2
1 IDENTIFICATION OF THE SUBSTANCE/PREPARATION AND OF THE COMPANY Product name Nitrogen, refrigerated, liquid. EC No (from EINECS): 231-783-9 CAS No: 7727-37-9 Index-Nr. - Chemical formula N₂ REACH Registration number: Listed in Annex IV/V of Regulation (EC) No 1907/2006 (REACH), exempted from registration. Known uses Not known. Company identification Linde AG, Linde Gas Division, Seiterstraße 70, D-82049 Pullach E-Mail Address Info@de.linde-gas.com Emergency phone numbers (24h): 089-7446-0 2 HAZARDS IDENTIFICATION Classification of the substance or mixture Classification acc. to Regulation (EC) No 1272/2008/EC (CLP/GHS) Press. Gas - Contains refrigerated gas; may cause cryogenic burns or injury. Classification acc. to Directive 67/548/EEC & 1999/45/EC Not classified as hazardous to health. Asphyxiant in high concentrations. Risk advice to man and the environment Refrigerated liquefied gas. Contact with product may cause cold burns or frostbite. In high concentrations may cause asphyxiation. Label Elements - Labelling Pictograms  - Signal word Warning - Hazard Statements 4281 Contains refrigerated gas; may cause cryogenic burns or injury. EIGA-As Asphyxiant in high concentrations. - Precautionary Statements Precautionary Statement Prevention P282 Wear cold insulating gloves/face shield/eye protection.	
Precautionary Statement Disposal 3 COMPOSITION/INFORMATION ON INGREDIENTS Substance/Preparation: Substance. Components/Impurities Nitrogen, refrigerated, liquid. CAS No: 7727-37-9 Index-Nr.: - EC No (from EINECS): 231-783-9 REACH Registration number: Listed in Annex IV/V of Regulation (EC) No 1907/2006 (REACH), exempted from registration. Contains no other components or impurities which will influence the classification of the product. 4 FIRST AID MEASURES Inhalation In high concentrations may cause asphyxiation. Symptoms may include loss of mobility/consciousness. Victim may not be aware of asphyxiation. Remove victim to uncontaminated area wearing self contained breathing apparatus. Keep victim warm and rested. Call a doctor. Apply artificial respiration if breathing stopped. Skin/eye contact Immediately flush eyes thoroughly with water for at least 15 minutes. In case of frostbite spray with water for at least 15 minutes. Apply a sterile dressing. Obtain medical assistance. Ingestion Ingestion is not considered a potential route of exposure. 5 FIRE FIGHTING MEASURES Specific hazards Exposure to fire may cause containers to rupture/explode. Non flammable. Hazardous combustion products None. Suitable extinguishing media All known extinguishants can be used. Specific methods If possible, stop flow of product. Move container away or cool with water from a protected position. Special protective equipment for fire fighters In confined space use self-contained breathing apparatus. 6 ACCIDENTAL RELEASE MEASURES Personal precautions Evacuate area. Use protective clothing. Wear self-contained breathing apparatus when entering area unless atmosphere is proved to be safe. Environmental precautions Prevent from entering sewers, basements and workpits, or any place where its accumulation can be dangerous. Try to stop release. Clean up methods Ventilate area.	

THE LINDE GROUP

Linde

Safety data sheet Nitrogen, refrigerated, liquid.

Creation date : 27.01.2005
Revision date : 20.12.2010

Version : 3.0

DE / E

SDS No. : 8348
page 2 / 2

Storage

Keep container below 50°C in a well ventilated place. Observe "Technische Regeln Druckgase (TRG) 280 Ziffer 5"

8 EXPOSURE CONTROLS/PERSONAL PROTECTION

Personal protection

Protect eyes, face and skin from liquid splashes. Ensure adequate ventilation.

9 PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES

General information

Appearance/Colour: Colourless liquid.
Odour: None.

Important information on environment, health and safety

Molecular weight: 28 g/mol
Melting point: -210 °C
Boiling point: -196 °C
Critical temperature: -147 °C
Autoignition temperature: Not applicable.
Flammability range: Not applicable.

Relative density, gas: 0,97

Relative density, liquid: 0,8

Solubility mg/l water: 20 mg/l

Other data

Gas/vapour heavier than air. May accumulate in confined spaces, particularly at or below ground level.

10 STABILITY AND REACTIVITY

Stability and reactivity

Stable under normal conditions. Liquid spillages can cause embrittlement of structural materials.

11 TOXICOLOGICAL INFORMATION

General

No known toxicological effects from this product.

12 ECOLOGICAL INFORMATION

General

Can cause frost damage to vegetation.

13 DISPOSAL CONSIDERATIONS

General

Do not discharge into any place where its accumulation could be dangerous. Contact supplier if guidance is required.
EWC Nr. 16 05 05

14 TRANSPORT INFORMATION

ADR/RID

Class 2 Classification Code 3A

UN number and proper shipping name

UN 1977 Nitrogen, refrigerated, liquid

UN 1977 Nitrogen, refrigerated, liquid

Labels 2.2 Hazard number 22

Packing Instruction P203

IMDG

Class

2.2

UN number and proper shipping name

UN 1977 Nitrogen, refrigerated, liquid

Labels

2.2

Packing Instruction

P203

EmS

FC,SV

IATA

Class

2.2

UN number and proper shipping name

UN 1977 Nitrogen, refrigerated, liquid

Labels

2.2

Packing Instruction

P202

Other transport information

Ensure vehicle driver is aware of the potential hazards of the load and knows what to do in the event of an accident or an emergency. Ensure adequate ventilation. Avoid transport on vehicles where the load space is not separated from the driver's compartment. Before transporting product containers ensure that they are firmly secured. Ensure compliance with applicable regulations.

15 REGULATORY INFORMATION

Water pollution class

Not polluting to waters according to VwVwS from 27.07.2006.

TA-Luft

Not classified according to TA-Luft.

16 OTHER INFORMATION

Ensure all national/local regulations are observed. The hazard of asphyxiation is often overlooked and must be stressed during operator training. Before using this product in any new process or experiment, a thorough material compatibility and safety study should be carried out.

Advice

Whilst proper care has been taken in the preparation of this document, no liability for injury or damage resulting from its use can be accepted. Details given in this document are believed to be correct at the time of going to press.

Further information

Linde safety advice

No. 1 Handling of refrigerated liquid gases
No. 3 Oxygen deficiency
No. 11 Transport of gas receptacles in vehicles

End of document

ANEXO 3: Nomenclatura estándar ANSI/IEC 60529-2004 en el Grado de Protección de Equipos Eléctricos



Primer dígito (IP_X)

El estándar ANSI/IEC 60529-2004 establece para el primer dígito que el equipo a ser certificado debe cumplir con alguna de las siguientes condiciones.

Nivel	Tamaño del objeto entrante	Efectivo contra
0	—	Sin protección
1	>50 mm	El elemento que debe utilizarse para la prueba (esfera de 50 mm de diámetro) no debe llegar a entrar por completo.
2	>12.5 mm	El elemento que debe utilizarse para la prueba (esfera de 12,5 mm de diámetro) no debe llegar a entrar por completo.
3	>2.5 mm	El elemento que debe utilizarse para la prueba (esfera de 2,5 mm de diámetro) no debe entrar en lo más mínimo.
4	>1 mm	El elemento que debe utilizarse para la prueba (esfera de 1 mm de diámetro) no debe entrar en lo más mínimo.
5	Protección contra polvo	La entrada de polvo no puede evitarse, pero el mismo no debe entrar en una cantidad tal que interfiera con el correcto funcionamiento del equipamiento.
6	Protección fuerte contra polvo	El polvo no debe entrar bajo ninguna circunstancia

Segundo dígito (IPX_)

Nivel	Protección frente a	Método de prueba	Resultados esperados
0	Sin protección.	Ninguno	El agua entrará en el equipamiento.
1	Goteo de agua	Se coloca el equipamiento en su lugar de trabajo habitual.	No debe entrar el agua cuando se la deja caer, desde 200mm de altura respecto del equipo, durante 10 minutos (a razón de 3-5 mm ³ por minuto)
2	Goteo de agua	Se coloca el equipamiento en su lugar de trabajo habitual.	No debe entrar el agua cuando se la deja caer, durante 10 minutos (a razón de 3-5 mm ³ por minuto). Dicha prueba se realizará cuatro veces a razón de una por cada giro de 15° tanto en sentido vertical como horizontal, partiendo cada vez de la posición normal de trabajo.
3	Agua nebulizada. (spray)	Se coloca el equipamiento en su lugar de trabajo habitual.	No debe entrar el agua nebulizada en un ángulo de hasta 60° a derecha e izquierda de la vertical a un promedio de 10 litros por minuto y a una presión de 80-100kN/m ² durante un tiempo que no sea menor a 5 minutos.
4	Chorros de agua	Se coloca el equipamiento en su lugar de trabajo habitual.	No debe entrar el agua arrojada desde cualquier ángulo a un promedio de 10 litros por minuto y a una presión de 80-100kN/m ² durante un tiempo que no sea menor a 5 minutos.

5	Chorros de agua.	Se coloca el equipamiento en su lugar de trabajo habitual.	No debe entrar el agua arrojada a chorro (desde cualquier ángulo) por medio de una boquilla de 6,3 mm de diámetro, a un promedio de 12,5 litros por minuto y a una presión de 30kN/m ² durante un tiempo que no sea menor a 3 minutos y a una distancia no menor de 3 metros.
6	Chorros muy potentes de agua.	Se coloca el equipamiento en su lugar de trabajo habitual.	No debe entrar el agua arrojada a chorros (desde cualquier ángulo) por medio de una boquilla de 12,5 mm de diámetro, a un promedio de 100 litros por minuto y a una presión de 100kN/m ² durante no menos de 3 minutos y a una distancia que no sea menor de 3 metros.
7	Inmersión completa en agua.	El objeto debe soportar (sin filtración alguna) la inmersión completa a 1 metro durante 30 minutos.	No debe entrar agua.
8	Inmersión completa y continua en agua.	El equipamiento eléctrico / electrónico debe soportar (sin filtración alguna) la inmersión completa y continua a la profundidad y durante el tiempo que especifique el fabricante del producto con el acuerdo del cliente, pero siempre que resulten condiciones más severas que las especificadas para el valor 7.	

ANEXO 4: Rugosidad absoluta de materiales

Rugosidad Absoluta de Materiales para Tuberías hidráulicas

Material	ϵ (mm)		Material	ϵ (mm)
Plástico (PE, PVC)	0,0015		Fundición asfaltada	0,06-0,18
Poliéster reforzado con fibra de vidrio	0,01		Fundición	0,12-0,60
Tubos estirados de acero	0,0024		Acero comercial y soldado	0,03-0,09
Tubos de latón o cobre	0,0015		Hierro forjado	0,03-0,09
Fundición revestida de cemento	0,0024		Hierro galvanizado	0,06-0,24
Fundición con revestimiento bituminoso	0,0024		Madera	0,18-0,90
Fundición centrífuga	0,003		Hormigón	0,3-3,0



ANEXO 5: Diagrama de Moody

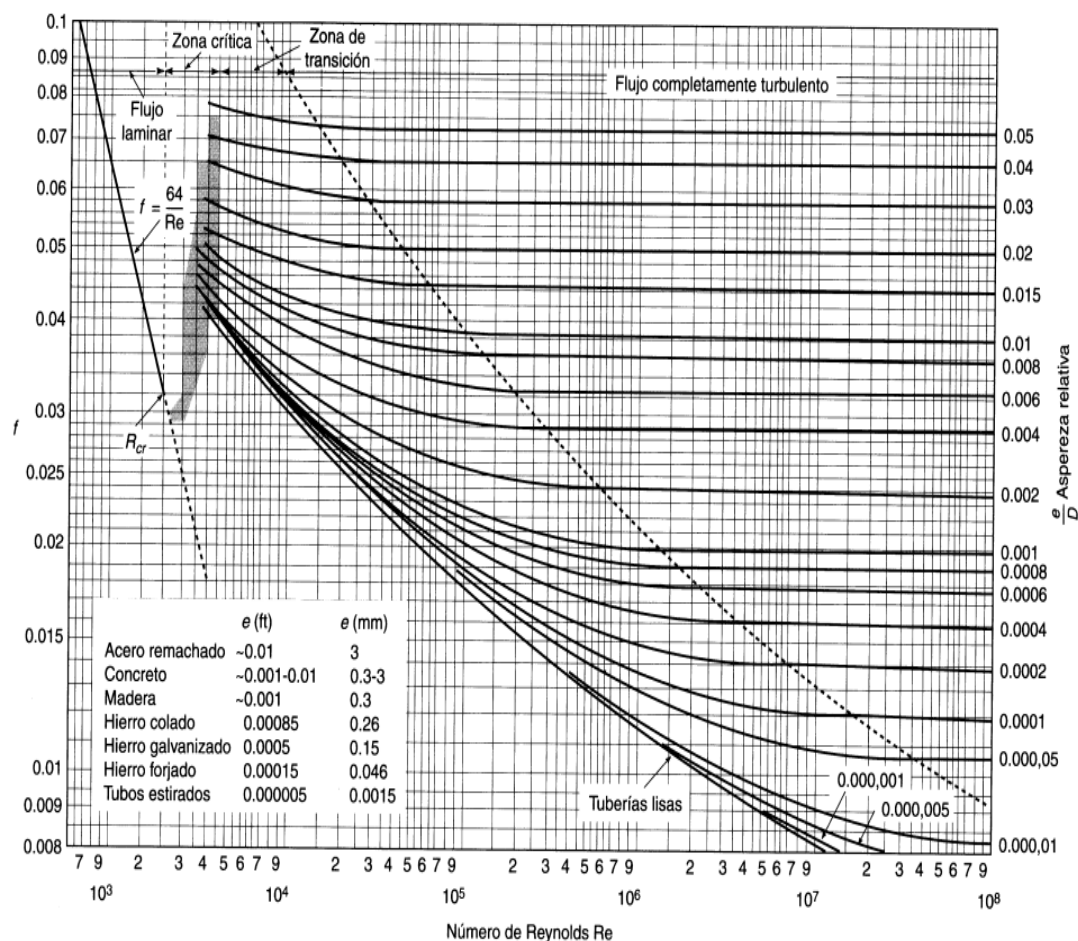
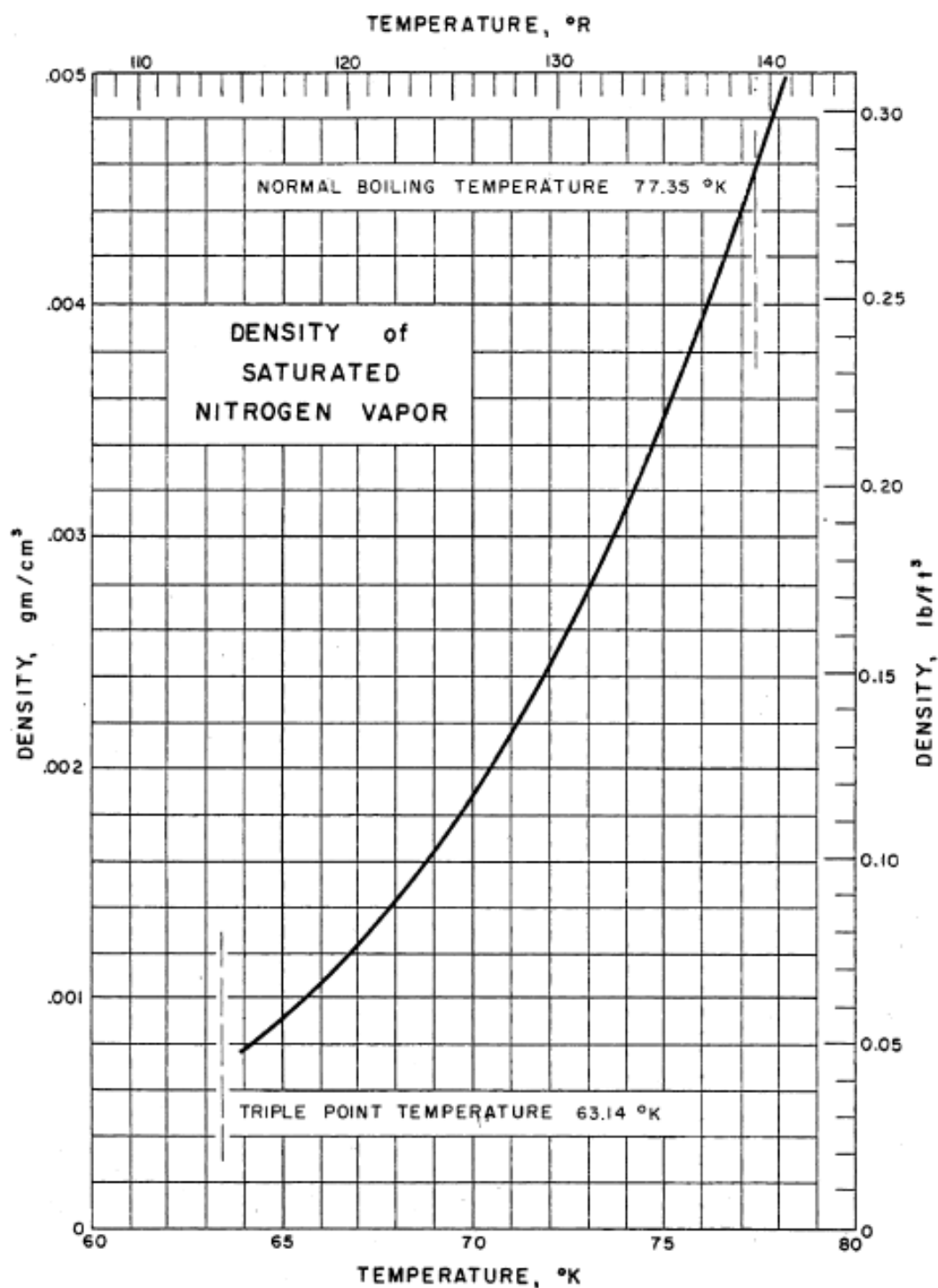


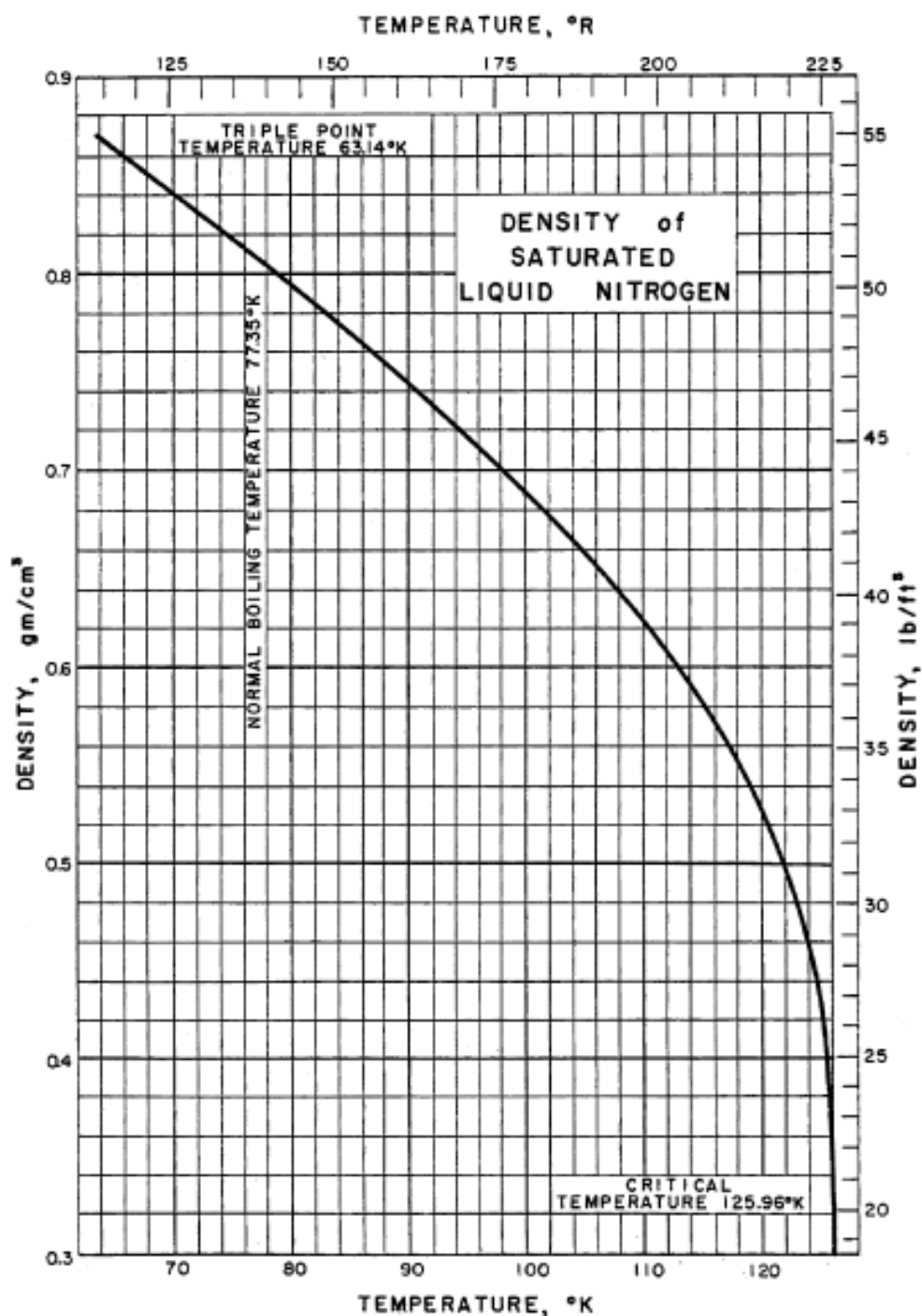
Diagrama de Moody. (De L.F. Moody, *Trans. ASME*, vol. 66, 1944.)



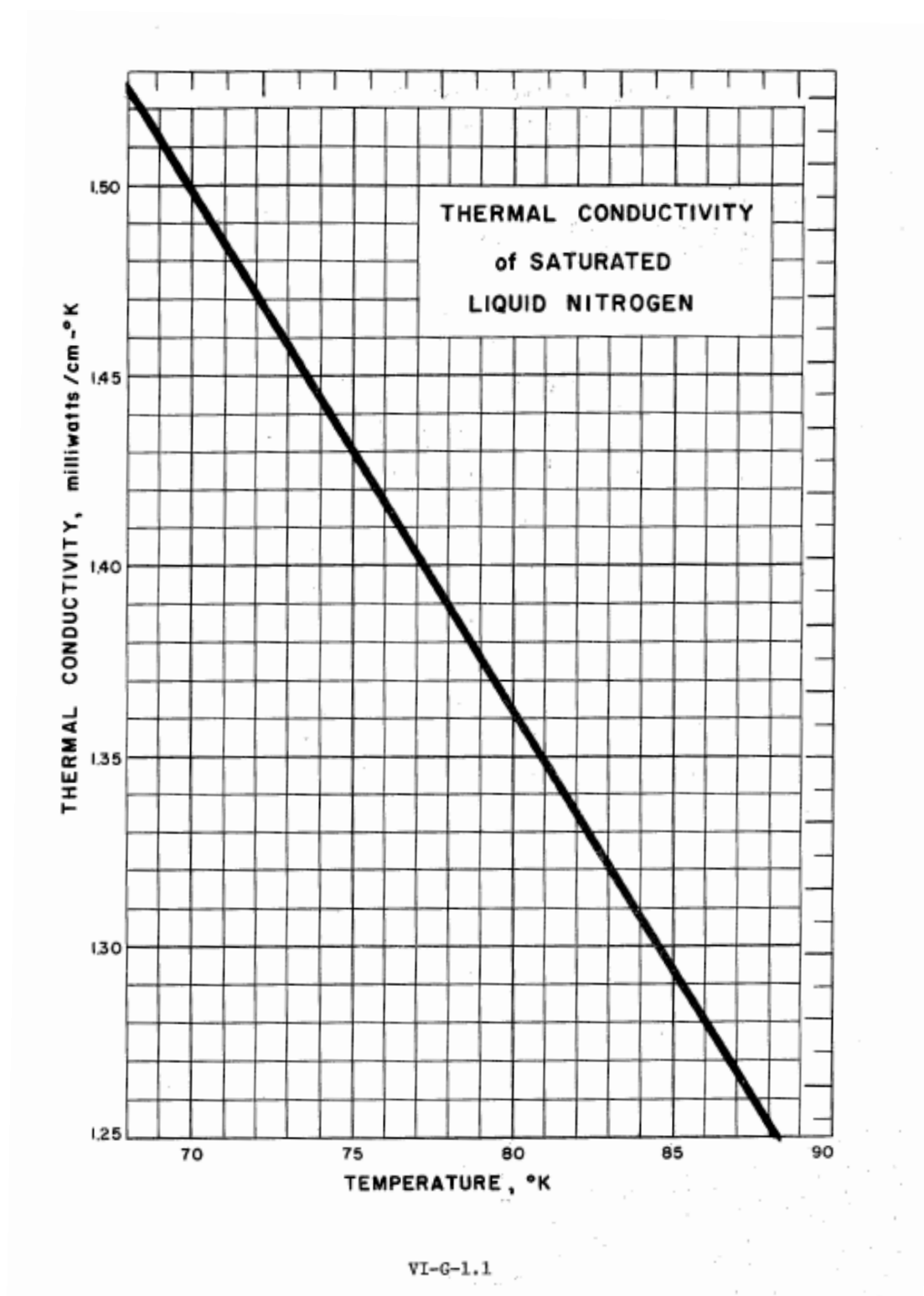
ANEXO 6: Densidad de Vapor de Nitrógeno Saturado [3]



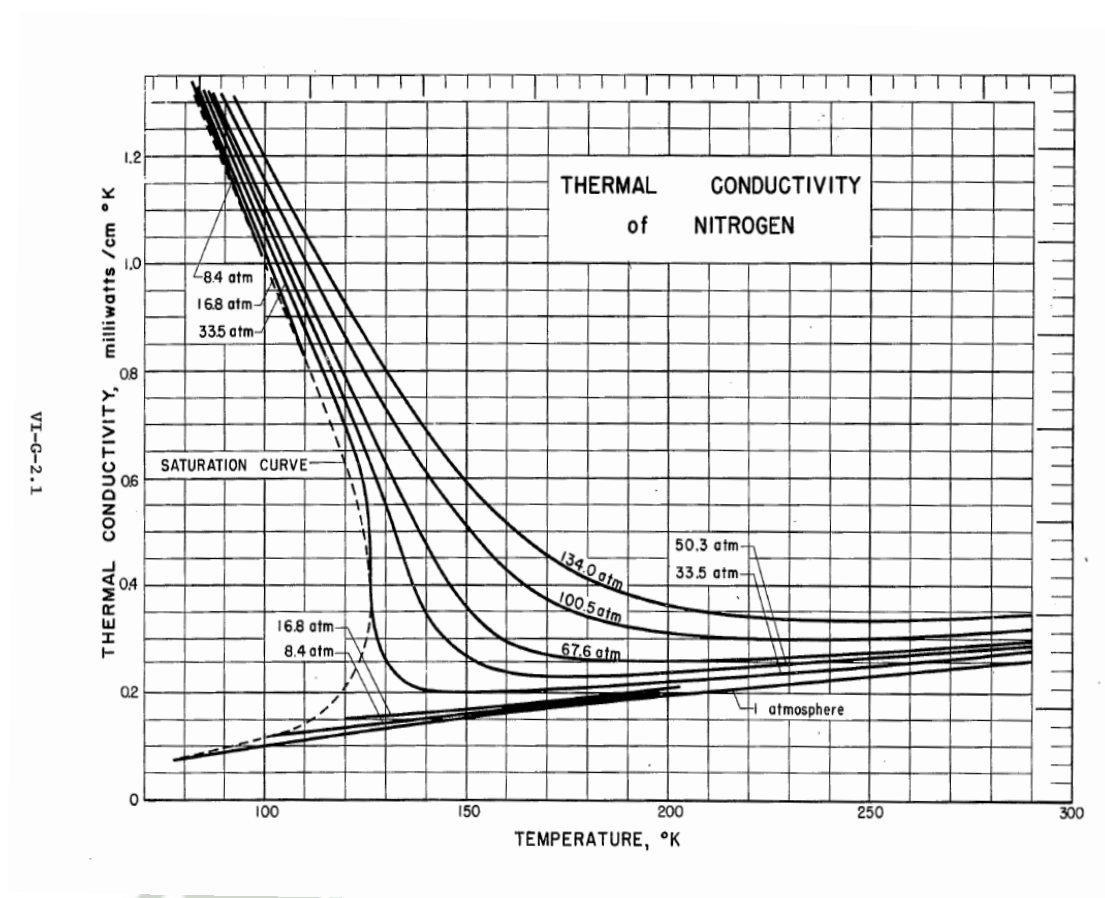
ANEXO 7: Densidad de Nitrógeno Líquido Saturado [3]



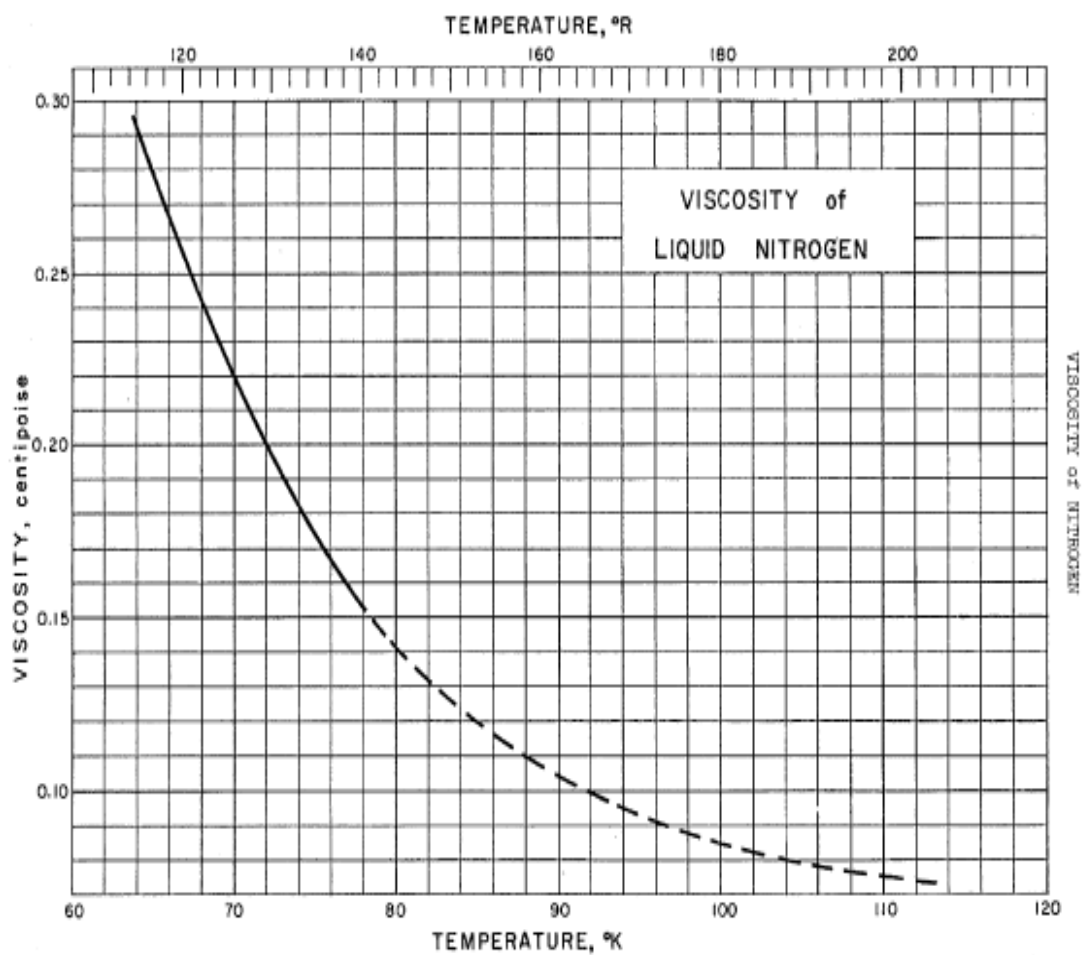
ANEXO 8: Conductividad Térmica de Nitrógeno Líquido Saturado [3]



ANEXO 9: Conductividad Térmica de Nitrógeno [3]



ANEXO 10: Viscosidad Dinámica del Nitrógeno Líquido [3]



ANEXO 11: Viscosidad Dinámica de Nitrógeno Gaseoso [3]

Temp. (K)	Viscosity (cP)	Temp. (K)	Viscosity (cP)
90	0.006	298	0.013
100	0.006	210	0.014
110	0.007	220	0.014
120	0.008	230	0.015
130	0.008	240	0.015
140	0.009	250	0.016
150	0.010	260	0.016
160	0.010	270	0.016
170	0.011	280	0.016
180	0.011	290	0.017
190	0.012	298.1	0.017
200	0.012	300	0.017

Source: Johnston and McCloskey (1940).



ANEXO 12: Número de Prandtl de Nitrógeno Líquido [4]

Tabla 6.1. Nitrógeno líquido en el punto de ebullición (PE).

Presión	Temperatura		Densidad	Entalpía	Calor específico	Viscosidad	Conductibilidad	Nº PRANDTL
P	T		d	h	Cp (P=cte)	$\mu \times 10^{-5}$	$\lambda \times 10^{-5}$	Npr
bar	°K	°C	kg/m³	kcal/kg	kcal/kg °K	poise	cal/cm s °K	
1,01	77,35	-195,80	808,61	-29,01	0,49	153,41	32,64	2,32
5,01	94,00	-179,15	724,06	-20,57	0,52	81,83	25,54	1,68
10,17	104,00	-169,15	662,94	-15,08	0,56	60,00	21,41	1,69
14,67	110,00	-163,15	620,02	-11,47	0,61	52,59	18,97	1,75
20,46	116,00	-157,15	568,73	-7,45	0,79	43,10	16,57	2,06
30,57	124,00	-149,15	459,08	-0,12	2,21	29,14	13,39	4,81



ANEXO 13: Número de Prandtl de Nitrógeno Vaporizado [4]

Tabla 6.8. Número de Prandtl del nitrógeno gas a las presiones P (bar) y temperaturas T.

T	°C	-183	-173	-153	-133	-73	-33	27	77
	°K	90	100	120	140	200	240	300	350
P bar	1	0,784	0,766	0,779	0,777	0,736	0,736	0,717	0,713
	10			0,883	0,803	0,747	0,743	0,741	0,718
	20				0,881	0,791	0,748	0,730	0,722
	30					0,810	0,770	0,725	0,726

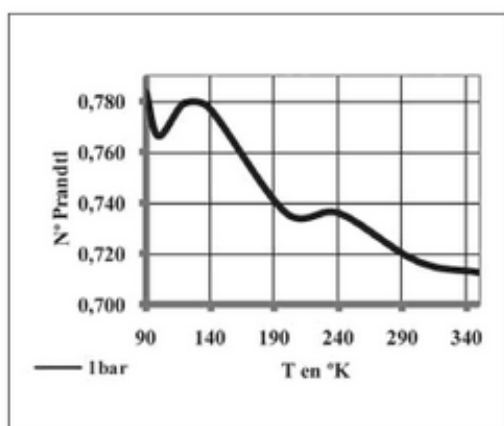


Figura 6.33. Nitrógeno gas. Número de Prandtl a 1 bar.

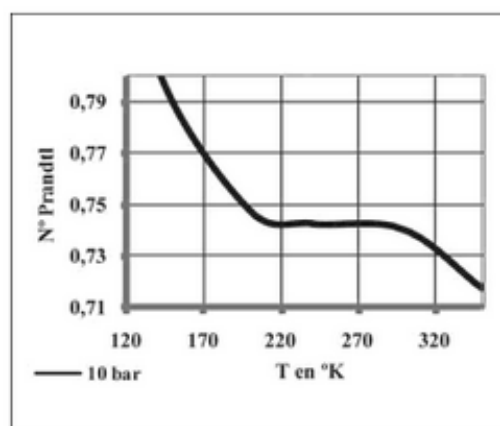
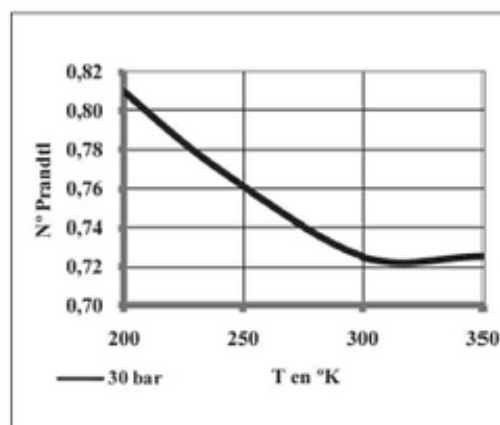
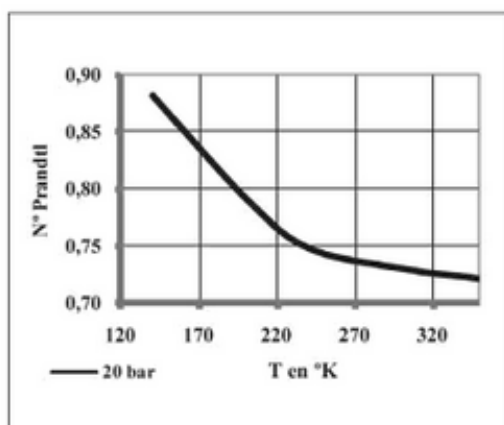
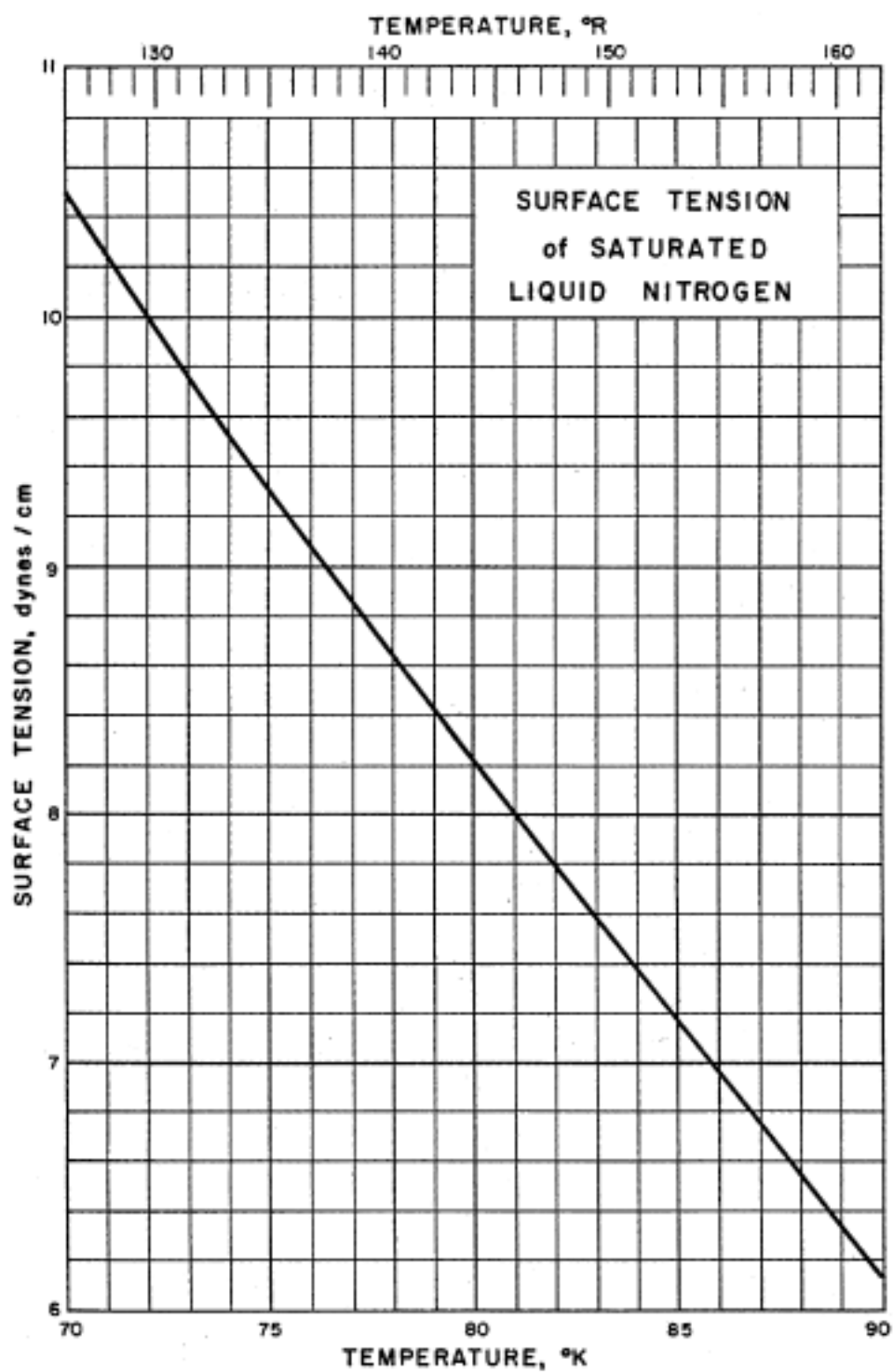


Figura 6.34. Nitrógeno gas. Número de Prandtl a 10 bar.



ANEXO 14: Tensión Superficial de Nitrógeno Líquido [3]



ANEXO 15: Propiedades del aire a presión atmosférica [2]

TABLA A-15

Propiedades del aire a la presión de 1 atm

Temp., T , °C	Densidad, ρ , kg/m ³	Calor específico, c_p , J/kg · K	Conductividad térmica, k , W/m · K	Difusividad térmica, α , m ² /s ²	Viscosidad dinámica, μ , kg/m · s	Viscosidad cinemática, ν , m ² /s	Número de Prandtl, Pr
-150	2.866	983	0.01171	4.158×10^{-6}	8.636×10^{-6}	3.013×10^{-6}	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	8.036×10^{-6}	1.189×10^{-5}	5.837×10^{-6}	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	1.252×10^{-5}	1.474×10^{-5}	9.319×10^{-6}	0.7440
-40	1.514	1002	0.02057	1.356×10^{-5}	1.527×10^{-5}	1.008×10^{-5}	0.7436
-30	1.451	1004	0.02134	1.465×10^{-5}	1.579×10^{-5}	1.087×10^{-5}	0.7425
-20	1.394	1005	0.02211	1.578×10^{-5}	1.630×10^{-5}	1.169×10^{-5}	0.7408
-10	1.341	1006	0.02288	1.696×10^{-5}	1.680×10^{-5}	1.252×10^{-5}	0.7387
0	1.292	1006	0.02364	1.818×10^{-5}	1.729×10^{-5}	1.338×10^{-5}	0.7362
5	1.269	1006	0.02401	1.880×10^{-5}	1.754×10^{-5}	1.382×10^{-5}	0.7350
10	1.246	1006	0.02439	1.944×10^{-5}	1.778×10^{-5}	1.426×10^{-5}	0.7336
15	1.225	1007	0.02476	2.009×10^{-5}	1.802×10^{-5}	1.470×10^{-5}	0.7323
20	1.204	1007	0.02514	2.074×10^{-5}	1.825×10^{-5}	1.516×10^{-5}	0.7309
25	1.184	1007	0.02551	2.141×10^{-5}	1.849×10^{-5}	1.562×10^{-5}	0.7296
30	1.164	1007	0.02588	2.208×10^{-5}	1.872×10^{-5}	1.608×10^{-5}	0.7282
35	1.145	1007	0.02625	2.277×10^{-5}	1.895×10^{-5}	1.655×10^{-5}	0.7268
40	1.127	1007	0.02662	2.346×10^{-5}	1.918×10^{-5}	1.702×10^{-5}	0.7255
45	1.109	1007	0.02699	2.416×10^{-5}	1.941×10^{-5}	1.750×10^{-5}	0.7241
50	1.092	1007	0.02735	2.487×10^{-5}	1.963×10^{-5}	1.798×10^{-5}	0.7228
60	1.059	1007	0.02808	2.632×10^{-5}	2.008×10^{-5}	1.896×10^{-5}	0.7202
70	1.028	1007	0.02881	2.780×10^{-5}	2.052×10^{-5}	1.995×10^{-5}	0.7177
80	0.9994	1008	0.02953	2.931×10^{-5}	2.096×10^{-5}	2.097×10^{-5}	0.7154
90	0.9718	1008	0.03024	3.086×10^{-5}	2.139×10^{-5}	2.201×10^{-5}	0.7132
100	0.9458	1009	0.03095	3.243×10^{-5}	2.181×10^{-5}	2.306×10^{-5}	0.7111
120	0.8977	1011	0.03235	3.565×10^{-5}	2.264×10^{-5}	2.522×10^{-5}	0.7073
140	0.8542	1013	0.03374	3.898×10^{-5}	2.345×10^{-5}	2.745×10^{-5}	0.7041
160	0.8148	1016	0.03511	4.241×10^{-5}	2.420×10^{-5}	2.975×10^{-5}	0.7014
180	0.7788	1019	0.03646	4.593×10^{-5}	2.504×10^{-5}	3.212×10^{-5}	0.6992
200	0.7459	1023	0.03779	4.954×10^{-5}	2.577×10^{-5}	3.455×10^{-5}	0.6974
250	0.6746	1033	0.04104	5.890×10^{-5}	2.760×10^{-5}	4.091×10^{-5}	0.6946
300	0.6158	1044	0.04418	6.871×10^{-5}	2.934×10^{-5}	4.765×10^{-5}	0.6935
350	0.5664	1056	0.04721	7.892×10^{-5}	3.101×10^{-5}	5.475×10^{-5}	0.6937
400	0.5243	1069	0.05015	8.951×10^{-5}	3.261×10^{-5}	6.219×10^{-5}	0.6948
450	0.4880	1081	0.05298	1.004×10^{-4}	3.415×10^{-5}	6.997×10^{-5}	0.6965
500	0.4565	1093	0.05572	1.117×10^{-4}	3.563×10^{-5}	7.806×10^{-5}	0.6986
600	0.4042	1115	0.06093	1.352×10^{-4}	3.846×10^{-5}	9.515×10^{-5}	0.7037
700	0.3627	1135	0.06581	1.598×10^{-4}	4.111×10^{-5}	1.133×10^{-4}	0.7092
800	0.3289	1153	0.07037	1.855×10^{-4}	4.362×10^{-5}	1.326×10^{-4}	0.7149
900	0.3008	1169	0.07465	2.122×10^{-4}	4.600×10^{-5}	1.529×10^{-4}	0.7206
1 000	0.2772	1184	0.07868	2.398×10^{-4}	4.826×10^{-5}	1.741×10^{-4}	0.7260
1 500	0.1990	1234	0.09599	3.908×10^{-4}	5.817×10^{-5}	2.922×10^{-4}	0.7478
2 000	0.1553	1264	0.11113	5.664×10^{-4}	6.630×10^{-5}	4.270×10^{-4}	0.7539

Nota: Para los gases ideales, las propiedades c_p , k , μ y Pr son independientes de la presión. Las propiedades ρ , ν y α a una presión P (en atm) diferente de 1 atm se determinan al multiplicar los valores de ρ , a la temperatura dada, por P y al dividir ν y α entre P .

Fuente: Datos generados basándose en el software EES desarrollado por S. A. Klein y F. L. Alvarado. Fuentes originales: Keenan, Chao, Keyes, Gas Tables, Wiley, 1984, y Thermophysical Properties of Matter, Vol. 3: Thermal Conductivity, Y. S. Touloukian, P. E. Liley, S. C. Saxena, Vol. 11: Viscosity, Y. S. Touloukian, S. C. Saxena y P. Hestermans, IFI/Plenum, NY, 1970, ISBN 0-306067020-8.

ANEXO 16: Ventilador SODECA

CMP-512-2T



Ventiladores centrífugos de media presión y simple aspiración con envolvente y turbina en chapa de acero

Ventilador:

- Envolvente en chapa de acero
- Turbina con álabes hacia delante, en chapa de acero galvanizado
- Modelo CMP 38-2M envolvente en fundición de aluminio

Motor:

- Motores eficiencia IE-2, excepto potencias inferiores a 0.75 kw monofásico y 2 velocidades
 - Motores clase F, con rodamientos a bolas, protección IP55, excepto modelos monofásicos protección IP54.
- Modelo CMP-38 protección IP21
- Monofásicos 230V-50Hz, y trifásicos 230/400V-50Hz (hasta 5.5CV) y 400/690V-50Hz (potencias superiores a 5.5CV)
 - Temperatura máxima del aire a transportar: -20°C + 120°C, máximo +100°C modelo CMP-38

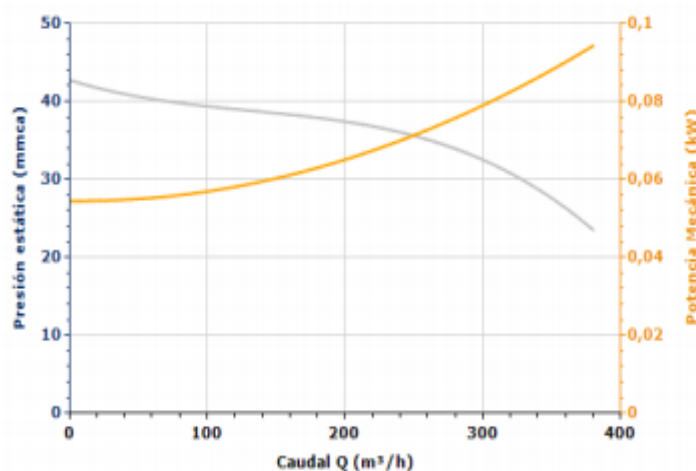
Acabado:

- Anticorrosivo en resina de poliéster, polimerizada a 190°C, previo desengrase alcalino y pretratamiento libre de fosfatos

Bajo demanda:

- Bobinados especiales para diferentes tensiones
- Ventilador preparado para transportar aire hasta 250°C
- Ventilador en acero inoxidable
- Certificación ATEX Categoría 2 (ver serie CMP/ATEX)

CURVA CARACTERÍSTICA Y ACÚSTICA PARA 1,2KG/M³

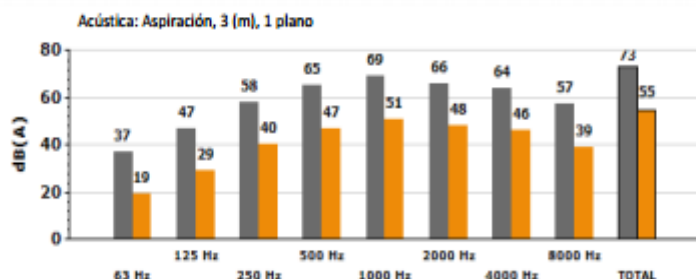


Punto Diseño

Q (m³/h)	
Pe (mmca)	

Punto Servicio (PS)

Q (m³/h)	
Pe (mmca)	
Pd (mmca)	
Pt (mmca)	
Velocidad (rpm)	
Máx. Temp. (°C)	
Velocidad Aire (m/s)	
Potencia Mecánica (kW)	



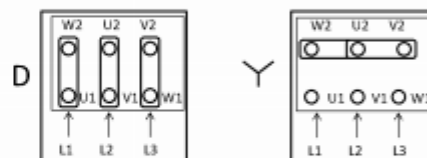
Banda	Lw dB(A)	Lp dB(A)
63 Hz	37	19
125 Hz	47	29
250 Hz	58	40
500 Hz	65	47
1000 Hz	69	51
2000 Hz	66	48
4000 Hz	64	46
8000 Hz	57	39
TOTAL	73	55

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Caudal máximo (m ³ /h)	380
Velocidad (rpm)	2850
Peso aprox. (kg)	4

DATOS DEL MOTOR

Potencia Mecánica Nominal (kW)	0,09
Hz/fases	50/3
Motor (rpm)	2670
Polos	2
Corriente máx. (A) 380-415 V Y	0,37
Corriente máx. (A) 220-240 V D	0,64
Protección del motor	IP55
Tamaño del bastidor del motor	56



Los datos pueden cambiar, por favor consulte la placa del motor

ACCESORIOS DISPONIBLES



Se debe comprobar que el accesorio es adecuado para el modelo de ventilador



ANEXO 17: Tablas Termodinámicas para hallar la Entalpía de Saturación del aire [9]

Tabla 1.1.

Temperatura (°C)	Presión de vapor de saturación (bar)	Humedad absoluta de saturación (kgw/kg)	Volumen específico (m³/kg)	Entalpía del aire seco (kJ/kg)	Entalpía del vapor de agua (kJ/kgw)	Entalpía de saturación (kJ/kg)	Entalpía del agua líquida o del hielo (kJ/kgw)
-40,00	0,0001285	0,0000793	0,6606	-40,250	2.426,90	-40,057	-411,59
-39,00	0,0001438	0,0000887	0,6635	-39,242	2.428,75	-39,027	-409,78
-38,00	0,0001608	0,0000992	0,6663	-38,235	2.430,61	-37,994	-407,96
-37,00	0,0001796	0,0001109	0,6692	-37,228	2.432,46	-36,958	-406,13
-36,00	0,0002004	0,0001237	0,6720	-36,220	2.434,31	-35,919	-404,30
-35,00	0,0002235	0,0001380	0,6748	-35,213	2.436,17	-34,877	-402,46
-34,00	0,0002490	0,0001537	0,6777	-34,206	2.438,02	-33,831	-400,61
-33,00	0,0002771	0,0001711	0,6806	-33,199	2.439,87	-32,782	-398,76
-32,00	0,0003082	0,0001902	0,6834	-32,192	2.441,72	-31,728	-396,89
-31,00	0,0003424	0,0002114	0,6863	-31,186	2.443,57	-30,669	-395,02
-30,00	0,0003802	0,0002347	0,6891	-30,179	2.445,42	-29,605	-393,14
-29,00	0,0004217	0,0002603	0,6920	-29,172	2.447,27	-28,535	-391,26
-28,00	0,0004673	0,0002885	0,6948	-28,166	2.449,12	-27,459	-389,36
-27,00	0,0005174	0,0003194	0,6977	-27,159	2.450,97	-26,376	-387,46
-26,00	0,0005725	0,0003534	0,7006	-26,153	2.452,82	-25,286	-385,56
-25,00	0,0006329	0,0003907	0,7035	-25,147	2.454,67	-24,188	-383,64
-24,00	0,0006991	0,0004316	0,7063	-24,140	2.456,52	-23,080	-381,72
-23,00	0,0007716	0,0004764	0,7092	-23,134	2.458,37	-21,963	-379,79
-22,00	0,0008510	0,0005254	0,7121	-22,128	2.460,22	-20,835	-377,85
-21,00	0,0009378	0,0005790	0,7150	-21,122	2.462,06	-19,696	-375,90
-20,00	0,0010326	0,0006376	0,7179	-20,116	2.463,91	-18,545	-373,95
-19,00	0,0011362	0,0007016	0,7208	-19,110	2.465,76	-17,380	-371,99
-18,00	0,0012492	0,0007715	0,7238	-18,104	2.467,60	-16,200	-370,02
-17,00	0,0013725	0,0008477	0,7267	-17,098	2.469,45	-15,005	-368,05
-16,00	0,0015068	0,0009307	0,7296	-16,092	2.471,29	-13,792	-366,06

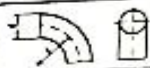
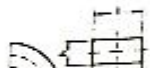
Temperatura (°C)	Presión de vapor de saturación (bar)	Humedad absoluta de saturación (kgw/kg)	Volumen específico (m³/kg)	Entalpía del aire seco (kJ/kg)	Entalpía del vapor de agua (kJ/kgw)	Entalpía de saturación (kJ/kg)	Entalpía del agua líquida o del hielo (kJ/kgw)
-15,00	0,0016530	0,0010212	0,7326	-15,086	2.473,14	-12,561	-364,07
-14,00	0,0018121	0,0011197	0,7355	-14,080	2.474,98	-11,309	-362,07
-13,00	0,0019852	0,0012268	0,7385	-13,074	2.476,83	-10,036	-360,07
-12,00	0,0021732	0,0013432	0,7414	-12,069	2.478,67	-8,739	-358,06
-11,00	0,0023774	0,0014696	0,7444	-11,063	2.480,52	-7,417	-356,04
-10,00	0,0025990	0,0016069	0,7474	-10,057	2.482,36	-6,086	-354,01
-9,00	0,0028394	0,0017559	0,7505	-9,051	2.484,20	-4,689	-351,97
-8,00	0,0030998	0,0019174	0,7535	-8,046	2.486,04	-3,279	-349,93
-7,00	0,0033819	0,0020925	0,7565	-7,040	2.487,89	-1,834	-347,88
-6,00	0,0036873	0,0022821	0,7596	-6,034	2.489,73	-0,353	-345,82
-5,00	0,0040176	0,0024873	0,7627	-5,029	2.491,57	1,169	-343,76
-4,00	0,0043747	0,0027092	0,7658	-4,023	2.493,41	2,732	-341,69
-3,00	0,0047606	0,0029492	0,7690	-3,017	2.495,25	4,342	-339,61
-2,00	0,0051772	0,0032086	0,7721	-2,011	2.497,09	6,001	-337,52
-1,00	0,0056267	0,0034887	0,7753	-1,006	2.498,93	7,712	-335,42
0,00	0,0061115	0,0037910	0,7785	0,000	2.500,77	9,480	-333,32
1,00	0,00663707	0,0040777	0,7818	1,006	2.502,62	11,211	4,28
2,00	0,0070595	0,0043831	0,7850	2,012	2.504,46	12,989	8,48
3,00	0,0075803	0,0047089	0,7882	3,017	2.506,30	14,819	12,68
4,00	0,0081348	0,0050560	0,7915	4,023	2.508,14	16,704	16,88

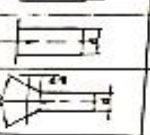
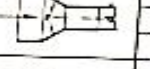
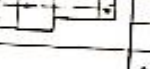
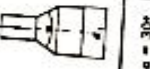
ANEXO 18: Tablas Termodinámicas del Nitrógeno Saturado

18 PROPIEDADES TERMODINAMICAS DEL NITROGENO (Nitrógeno Saturado)										
Temp. K	Presión MPa P	VOLUMEN ESPECIFICO m ³ /kg			ENTALPIA kJ/kg			ENTROPIA kJ/kg K		
		Líquido Saturado v_f	Evap. v_{fg}	Vapor Saturado v_g	Líquido Saturado h_f	Evap. h_{fg}	Vapor Saturado h_g	Líquido Saturado s_f	Evap. s_{fg}	Vapor Saturado s_g
63.143	0.01253	0.001 152	1.480 060	1.481 212	-150.348	215.188	64.840	2.4310	3.4076	5.8386
65	0.01742	0.001 162	1.093 173	1.094 335	-146.691	213.291	66.600	2.4845	3.2849	5.7694
70	0.03858	0.001 189	0.525 785	0.526 974	-136.569	207.727	71.158	2.6345	2.9703	5.6048
75	0.07612	0.001 221	0.280 970	0.282 191	-126.287	201.662	75.375	2.7755	2.6915	5.4670
77.347	0.101325	0.001 237	0.215 504	0.216 741	-121.433	198.615	77.212	2.8390	2.5706	5.4096
80	0.1370	0.001 256	0.162 794	0.164 050	-115.926	195.089	79.163	2.9083	2.4409	5.3492
85	0.2291	0.001 296	0.100 434	0.101 730	-105.461	187.892	82.431	3.0339	2.2122	5.2461
90	0.3608	0.001 340	0.064 950	0.066 290	-94.817	179.894	85.077	3.1535	2.0001	5.1536
95	0.5411	0.001 392	0.043 504	0.044 896	-83.895	170.877	86.982	3.2688	1.7995	5.0683
100	0.7790	0.001 452	0.029 861	0.031 313	-72.571	160.562	87.991	3.3816	1.6060	4.9876
105	1.0843	0.001 524	0.020 745	0.022 269	-60.691	148.573	87.882	3.4930	1.4150	4.9080
110	1.4673	0.001 613	0.014 402	0.016 015	-48.027	134.319	86.292	3.6054	1.2209	4.8263
115	1.9395	0.001 797	0.009 696	0.011 493	-34.157	116.701	82.544	3.7214	1.0145	4.7359
120	2.5135	0.001 904	0.006 130	0.008 034	-18.017	93.092	75.075	3.8450	0.7803	4.6253
125	3.2079	0.002 323	0.002 568	0.004 891	+6.202	50.114	56.316	4.0356	0.3989	4.4345
126.1	3.4000	0.003 184	0.000 000	0.003 184	+30.791	0.000	30.791	4.2269	0.0000	4.2269

ANEXO 19: Longitud en metros de tramo recto de conducción equivalente a las pérdidas de carga de diversos accesorios.

Tabla 7.2. LONGITUD EQUIVALENTE A LAS PERDIDAS DE CARGA

ELEMENTO			Ø conducto o cota h, en milímetros														
			75	100	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800		
Codos		$r = d$	1,3	1,7	2,5	3,4	4,3	5,1	6	6,8	7,6	8,5	10	12	13		
		$r = 1,5 d$	0,9	1,2	1,8	2,4	3	3,6	4,2	4,8	5,4	6	7,2	8,4	9,1		
		$r = 2 d$	0,7	1	1,5	2	2,6	3	3,6	4	4,5	5	6	7	8		
		$\frac{r}{h} = 0,25$	$r = 0,5 h$	1,9	2,5	3,7	5	6,3	7,5	8,8	10	11	12,5	15	17,5	20	
			$r = h$	0,5	0,7	1	1,4	1,7	2,1	2,5	2,8	3,2	3,6	4,2	4,9	5,5	
			$r = 1,5 h$	0,3	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2	2,4	2,8	3,1	
		$\frac{r}{h} = 0,5$	$r = 0,5 h$	3	4	6	8	10	12	14	16	18	20	24	28	31	
			$r = h$	0,6	0,9	1,4	1,8	2,2	2,7	3,2	3,6	4,1	4,5	5,4	6,3	7,1	
			$r = 1,5 h$	0,3	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2	2,4	2,8	3,1	
		$\frac{r}{h} = 1$	$r = 0,5 h$	3,7	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20	22,5	25	30	35	40	
			$r = h$	0,8	1	1,5	2,2	2,7	3,3	3,9	4,4	5	5,5	6,6	7,7	8,8	
			$r = 1,5 h$	0,4	0,5	0,7	0,9	1	1,4	1,6	1,8	2	2,3	2,7	3,2	3,7	
		$\frac{r}{h} = 4$	$r = 0,5 h$	5	6,5	10	13	16	20	23	26	29	33	39	46	52	59
			$r = h$	1,3	1,7	2,6	3,4	4,3	5,1	6	6,8	7,7	8,5	10	12	13	15
		$r = 1,5 h$	0,5	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4	2,7	3	3,6	4,2	4,9	5,5	

ELEMENTO			Ø conducto, en milímetros													
			75	100	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800	
CÁMPANAS		$\alpha = 45^\circ$	0,85	1,2	2	2,9	3,8	4,8	5,8	6,8	7,8	9	11	13,4	15,6	
		$\alpha = 90^\circ$	1,6	2,4	4	5,8	7,5	9,5	11,5	13,6	15,6	17,6	22,2	26,8	31,2	
ENTRADAS			3	4,3	7,2	10,5	13,8	17,2	20,8	24,4	28,2	32	40	48	56,5	
			1,6	2,4	4	5,8	7,5	9,5	11,5	13,6	15,6	17,6	22,2	26,8	31,2	
			0,67	0,9	1,6	2,3	3	3,8	4,6	5,4	6,2	7,1	8,9	10,8	12,9	
CAMBIOS DE SECCIÓN		$\alpha = 60^\circ$	0,2	0,3	0,5	0,7	0,9	1,2	1,4	1,6	1,9	2,1	2,6	3,2	3,7	
		$\alpha = 45^\circ$	0,13	0,2	0,3	0,4	0,6	0,7	0,9	1	1,2	1,4	1,8	2,1	2,5	
		$\alpha = 30^\circ$	0,06	0,09	0,15	0,2	0,3	0,4	0,45	0,5	0,6	0,7	0,9	1	1,2	
		$d_1/d_2 = 1,1$	0,3	0,4	0,8	1	1,5	1,9	2,3	2,7	3,1	3,6	4,1	5,4	6,1	
		$d_1/d_2 = 1,4$	1	1,5	2,5	3,6	4,6	5,9	7,1	8,2	9,7	11	13,7	16,5	19,4	
		$d_1/d_2 = 2$	1,4	2	3,5	5	6,3	8,2	9,9	11,6	13,5	15,4	19	22,9	27	
		$\alpha = 60^\circ$ o mayor	$d_1/d_2 = 1,2$	0,3	0,4	0,8	1	1,5	1,9	2,3	2,7	3,1	3,6	4,1	5,4	6,1
			$d_1/d_2 = 1,5$	1	1,5	2,5	3,6	4,6	5,9	7,1	8,2	9,7	11	13,7	16,5	19,4
			$d_1/d_2 = 2$	1,8	2,6	4,5	6,3	8,2	10,5	12,6	15	17,2	19,6	24,4	29,2	34,5
		$\alpha = 30^\circ$	$d_1/d_2 = 1,2$	0,3	0,4	0,7	1	1,4	1,7	2	2,4	2,8	3,2	4	4,8	5,6
			$d_1/d_2 = 1,5$	0,8	1,1	1,9	2,8	3,7	4,6	5,5	6,5	7,6	8,8	10,6	13	15
			$d_1/d_2 = 2$	1,4	2	3,5	5	6,3	8,2	9,9	11,6	13,5	15,4	19	22,9	27
		$\alpha = 10^\circ$	$d_1/d_2 = 1,2$	0,16	0,23	0,4	0,6	0,8	0,9	1,1	1,3	1,5	1,7	2,2	2,7	3,1
			$d_1/d_2 = 1,5$	0,4	0,6	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,6	5,7	7	8,2
			$d_1/d_2 = 2$	0,75	1,1	1,8	2,6	3,5	4,4	5,3	6,2	7,2	8,2	10	12,3	14,6

/ Cálculo de los conductos

ANEXO 20: Datos de Extractor TD 250/100

TD

EXTRACTORES HELICOCENTRÍFUGOS EN LÍNEA
160/100 N Silent, 250/100, 350/125, 500/150, 800/200,
1300/250, 2000/315, 4000/355 y 6000/400



Esta gama mixvent TD de extractores tubulares de tipo helicocentrífugo ha sido diseñada para acoplar en ductos de ventilación. Gracias a la configuración de su hélice puede conseguir una elevada prestación guardando dimensiones muy reducidas, con un bajo nivel sonoro.

Características Principales

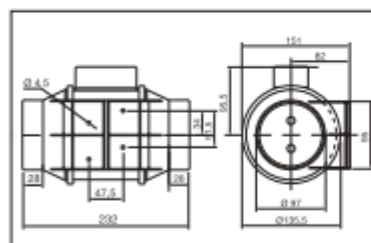
Carcaza: Fabricado en polipropileno, excepto modelos 1300/250, 2000/315, 4000/355 y 6000/400 con carcaza en acero y acabado en pintura epóxica.
Motor de inducción asincrónico monofásico
Hélices: fabricadas en ABS, para los modelos 1300/250, 2000/315, 4000/355 y 6000/400 se utiliza acero galvanizado.

Aplicaciones

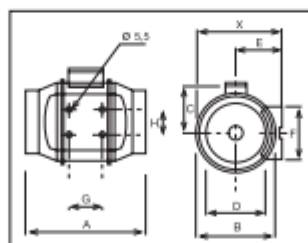
Su facilidad de instalación y mantenimiento permite el acoplamiento en cualquier parte del ducto de ventilación en: falsos plafones espacios interiores, áreas aisladas, oficinas y salas de juntas, locales comerciales, cuartos de baño, laboratorios, captaciones localizadas.

DIMENSIONES

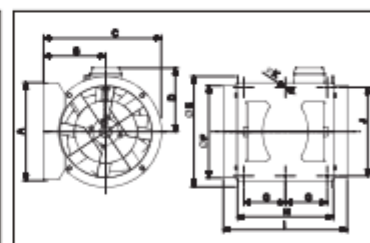
TD 160/100N Silent



TD 250/100 a TD 2000/315



TD 4000/355 a TD 6000/400



Modelo	X	A	Ø B	C	Ø D	E	F	G	H
TD 250/100	188	303	176	115	97	100	90	80	60
TD 350/125	188	258	176	115	123	100	90	80	60
TD 500/150	212	295	200	127	147	112	130	80	60
TD 800/200	233	302	217	141	198	124	140	100	94
TD 1300/250	291	386	272	192	248	155	168	145	140
TD 2000/315	356	450	336	224	312	188	210	182	178

Modelo	A	B	C	D	Ø E	Ø F	G	H	I	J	Ø K
TD 4000/355	377	238	451	224	426	354	150	368	474	340	8.5
TD 6000/400	407	249	492	267	487	399	160	425	547	370	8.5



CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

MODELO	Velocidad Nominal	Volts	Potencia	PRESIÓN ESTÁTICA (mmca / inwg)								Presión Estática Máx. in	Máx. Temp. de operación (°C)	Peso Kg
			Máx.											
			Watts	0 mm / 0"	3.175 mm / 0.125"	6.35 mm / 0.25"	9.525 mm / 0.375"	12.7 mm / 0.50"	19.05 mm / 0.75"	25.4 mm / 1.00"				
			HP	CFM m³/hr	CFM m³/hr	CFM m³/hr	CFM m³/hr	CFM m³/hr	CFM m³/hr	CFM m³/hr				
TD 160/100 N Silent	2431	120	23	97	81	51	-	-	-	-	0.40	40	0.9	
			0.03	165	138	87	-	-	-	-	10.20			
	2516	120	26	101	85	57	-	-	-	-	0.40	40	0.9	
			0.03	171	144	97	-	-	-	-	10.20			
TD 250/100	1556	120	44	100	77	48	-	-	-	-	0.36	40	2.0	
			0.06	170	131	82	-	-	-	-	9.53			
	2096	120	60	135	113	90	53	-	-	-	0.55	40	2.0	
			0.08	229	192	153	90	-	-	-	14.0			
TD 350/125	1633	120	44	149	110	73	-	-	-	-	0.35	40	2.0	
			0.06	253	187	124	-	-	-	-	8.89			
	2146	120	59	197	168	133	86	22	-	-	0.55	40	2.0	
			0.08	335	285	226	146	37	-	-	14.0			
TD 500/150	1709	120	54	218	193	163	128	105	24	-	0.80	60	2.0	
			0.07	370	328	277	217	178	41	-	20.3			
	2289	120	65	293	273	250	227	206	131	35	1.15	60	4.0	
			0.09	498	464	425	365	350	222	59	29.2			
TD 800/200	1935	120	122	419	393	363	327	295	215	107	1.204	60	4.0	
			0.16	711	667	616	555	501	365	182	30.5			
	2467	120	169	478	457	432	402	372	285	192	1.29	60	4.0	
			0.23	812	776	734	683	632	484	326	32.8			
TD 1300/250	2400	115	162	541	475	418	355	295	218	170	2.03	60	9.0	
			0.22	919	807	710	603	501	370	289	51.6			
	3200	115	241	754	715	680	640	606	520	405	2.53	60	9.0	
			0.32	1280	1214	1155	1087	1029	883	688	64.3			
TD 2000/315	2000	115	208	751	670	545	420	285	190	130	1.62	60	14.0	
			0.28	1275	1138	925	713	484	323	221	41.2			
	2500	115	335	1050	960	932	850	770	600	420	2.95	60	14.0	
			0.45	1783	1681	1583	1443	1307	1019	713	74.9			
TD 4000/355	1690	120	464	2302	2184	2088	1992	1885	1670	1371	1.17	60	19.0	
			0.622	3909	3709	3545	3382	3200	2836	2327	29.74			
TD 6000/400	1670	120	756	3176	3077	2974	2871	2746	2466	2179	1.67	60	26.0	
			1.013	5392	5225	5050	4875	4663	4238	3700	42.5			

La Certificación AMCA para los valores de Caudal y Presión no aplica para los modelos, TD 4000/355, TD 6000/400 y TDH.

AMCA Certified ratings seal does not apply to TD 4000/355, TD 6000/400 and TDH.



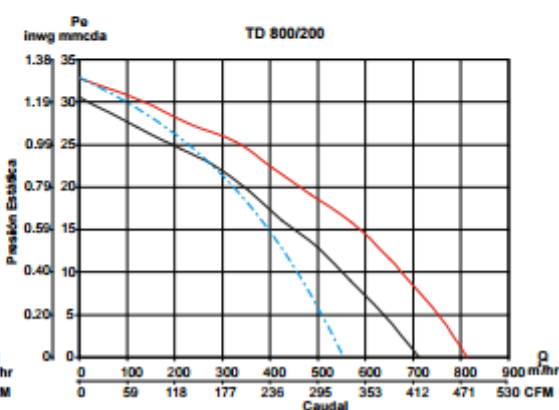
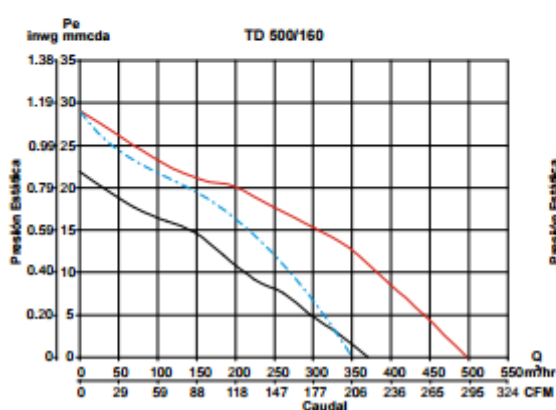
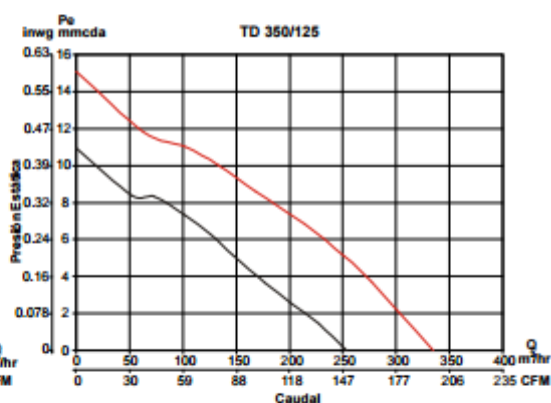
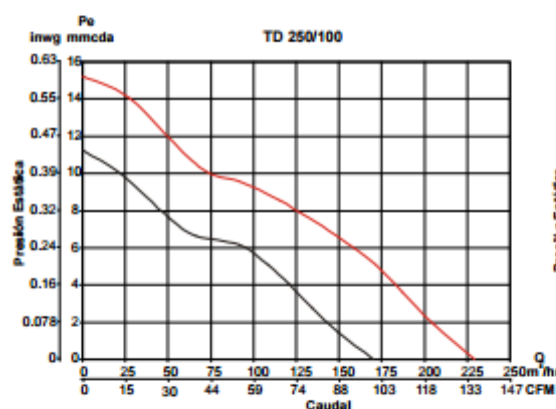
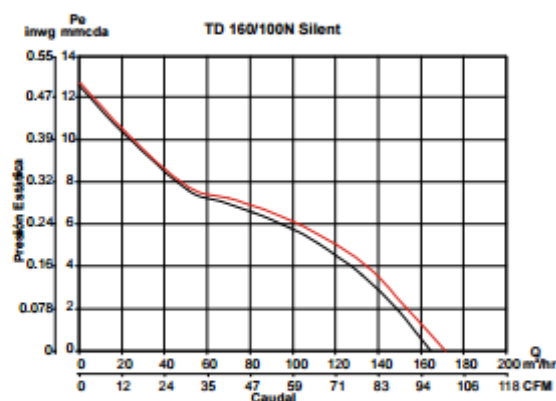
Soler y Palau, S.A. de C.V. Certifica que los modelos TD 160/100 N Silent, TD 250/100, TD 350/125, TD 500/150, TD 800/200, TD 1300/250 y TD 2000/315, han sido aprobados para tener el sello de prestaciones certificadas por AMCA. Los valores de Caudal y Presión que aquí se muestran fueron obtenidos en ensayos y procedimientos de acuerdo con la publicación AMCA211, y cumplen con los requerimientos del programa de certificación.

Soler y Palau, S.A. de C.V. certifies that the TD 160/100 N Silent, TD 250/100, TD 350/125, TD 500/150, TD 800/200, TD 1300/250 y TD 2000/315, range shown herein is licensed to bear the AMCA Seal. The ratings shown are based on tests and procedures performed in accordance with AMCA Publication 211 and comply with requirements of the AMCA Certified Ratings Program.



CURVAS CARACTERÍSTICAS

Velocidad alta ———
Velocidad baja ———
TDH - - - - -

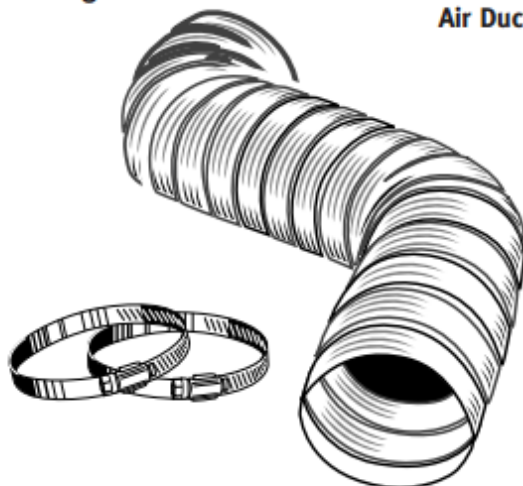


ANEXO 21: Datos de Manguera semi-flexible 4"X8pies



Technical Product Specifications

Semi Rigid Flexible Aluminum Duct - Class O, Flexible Air Duct



Semi Rigid Flexible Aluminum Duct

Model No.	Description
Ao38/9	Semi Rigid Flex. Alum. Duct
Ao38/16	Semi Rigid Flex. Alum. Duct
Ao325/5	Semi Rigid Flex. Alum. Duct
Ao45/9	Semi Rigid Flex. Alum. Duct
Ao48/6	Semi Rigid Flex. Alum. Duct
Ao48X/6	Semi Rigid Flex. Alum. Duct
Ao48MX/9	Duct w/ 2 metal worm drive clamps
Ao48/9	Semi Rigid Flex. Alum. Duct
Ao48/16	Semi Rigid Flex. Alum. Duct
Ao425/3	Semi Rigid Flex. Alum. Duct
Ao58/5	Semi Rigid Flex. Alum. Duct
Ao68/4	Semi Rigid Flex. Alum. Duct
Ao78/5	Semi Rigid Flex. Alum. Duct
Ao88/4	Semi Rigid Flex. Alum. Duct

Performance Data

for uninsulated aluminum flexible duct

Maximum Velocity

- 5000 FPM

Maximum Rated Pressures

- 3" - 8" dia., 6" w.g. Pos/Neg

Operating Temperature Range

- -100°F to 430°F

Class O Air Duct, Flexible

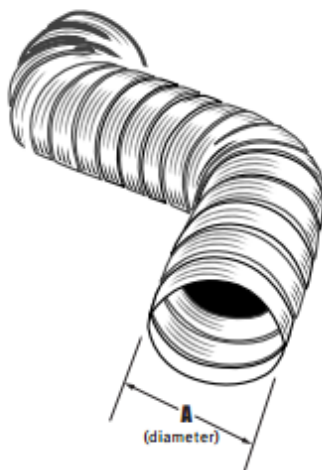
Flame Spread/Smoke Developed

- 0/0

General Information

- 8 foot lengths compress to 28 inches
- 25 foot lengths compress to 88 inches
- material description:
common name - aluminum alloy
trade name - aluminum alloy 3003
- a multiple use product, our semi rigid flexible ducting can be used for exhaust venting bathroom vents, clothes dryers, range hoods ect. . .

Model No.	A	length
Ao38/9	3" dia.	8 ft.
Ao38/16	3" dia.	8 ft.
Ao325/5	3" dia.	25 ft.
Ao45/9	4" dia.	5 ft.
Ao48/6	4" dia.	8 ft.
Ao48X/6	4" dia.	8 ft.
Ao48MX/9	4" dia.	8 ft.
Ao48/9	4" dia.	8 ft.
Ao48/16	4" dia.	8 ft.
Ao425/3	4" dia.	25 ft.
Ao58/5	5" dia.	8 ft.
Ao68/4	6" dia.	8 ft.
Ao78/5	7" dia.	8 ft.
Ao88/4	8" dia.	8 ft.



metal worm drive clamps
(available with Ao48MX/9 only)

8/01
© 2001
DEFLECTO CORPORATION • P.O. Box 50057 • Indianapolis, IN 46250 • www.deflecto.com
DEFLECTO/Canada Ltd. • St. Catharines, Ontario • Canada L2M 3Y2

Deflecto's policy is one of continual product improvement in design and manufacturing wherever possible, therefore all specifications and designs are subject to change without notice and without incurring obligations.

Ao1ps-A

ANEXO 22: Coeficiente k de pérdida en accesorios de aire acondicionado

Accesorio	$\square$	Accesorio	$\square$
Caldera	2,5	Llave/válvula de esfera	0,15
Radiador	2,5	Curva 90° radio corto	0,5
Válvula radiador en escuadra	2	Curva 90° radio largo	0,3
Válvula radiador paso recto	4	Curva 45 °	0,25
Válvula asiento plano	2,5	Distribuidor entrada	1
Válvula asiento inclinado	2	Distribuidor de salida	0,5
Válvula de retención	4	Fan-coil/aerotermino	fabricante
Inflexión	0,5	Baterías	fabricante
Válvula escuadra	1,5	Suelo radiante	fabricante



ANEXO 23: Rejilla para extracción de gases, *Silplas* 15cmX15cm

REJILLA VENTILACION 15X15 PERSINA



Fabricante: SILPLAS

Modelo: 06310036

Disponibilidad: Disponible

Precio: P2.300

Sin impuestos: P1.983

Cant.:

[Agregar al carro](#)

- 0 -

[Agregar a la lista de deseos](#)

[Agregar al comparador](#)



0 comentarios | [Escribir un](#)

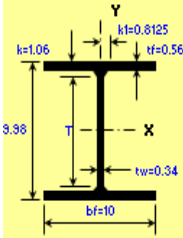
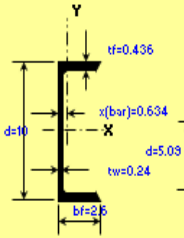
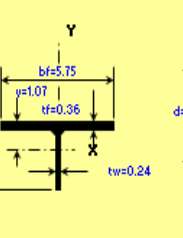
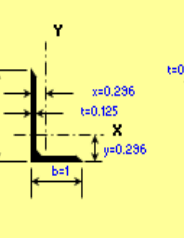
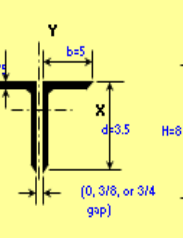
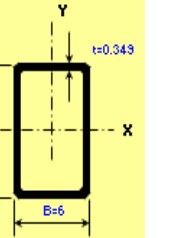
[comentario](#)

[+ Compartir](#)



ANEXO 24: Base de datos de elementos estructurales extraído de AISC Shapes Database

AISC MEMBER DIMENSIONS AND PROPERTIES VIEWER

U.S. M. HP Shapes	C. MC Shapes	WT. ST. MT Shapes	Single Angles	Double Angles	Rectangular HSS
					
W10x49 A = 14.40 in. ² d = 9.380 in. tw = 0.340 in. bf = 10.000 in. tf = 0.560 in. T = 7-1/2 in. k = 1.0600 in. k1 = 0.8125 in. gage = 5-1/2 in. rt = 2.740 in. d/Af = 1.78 in. lx = 272.00 in. ⁴ Sx = 54.60 in. ³ rx = 4.350 in. ly = 93.40 in. ⁴ Sy = 18.70 in. ³ ry = 2.540 in. Zx = 60.40 in. ³ Zy = 28.30 in. ³ J = 1.39 in. ⁴ Cw = 2070 in. ⁶ a = 62.10 in. Wno = 23.60 in. ² Sw = 33.00 in. ⁴ Qf = 12.70 in. ³ Qw = 23.70 in. ³	C10x15.3 A = 4.46 in. ² d = 10.000 in. tw = 0.240 in. bf = 2.600 in. tf = 0.436 in. T = 8 in. k = 1.0000 in. gage = 1-1/2 in. x(bar) = 0.634 in. eo = 0.736 in. d/Af = 8.81 in. lx = 67.30 in. ⁴ Sx = 13.50 in. ³ rx = 3.870 in. ly = 2.27 in. ⁴ Sy = 1.15 in. ³ ry = 0.711 in. J = 0.21 in. ⁴ Cw = 45.50 in. ⁶ a = 23.74 in. ro(kar) = 4.19 in. H = 0.88 in.	WT5x11 A = 3.24 in. ² d = 5.030 in. tw = 0.240 in. bf = 5.750 in. tf = 0.360 in. k = 0.66 in. lx = 6.8800 in. ⁴ Sx = 1.7200 in. ³ rx = 1.46 in. y = 1.070 in. ly = 5.71 in. ⁴ Sy = 1.99 in. ³ ry = 1.33 in. J = 0.119 in. ⁴ Cw = 0.11 in. ⁶ a = 1.53 in. ro(kar) = 2.160 in. H = 0.83 in.	L1x1x1/8 d = 1 in. b = 1 in. t = 0.125 in. k = 0.2500 in. wt./ft. = 0.80 plf. A = 0.23 in. ² lx = 0.02 in. ⁴ Sx = 0.03 in. ³ rx = 0.304 in. y = 0.296 in. ly = 0.02 in. ⁴ Sy = 0.03 in. ³ ry = 0.304 in. x = 0.296 in. r2 = 0.196 in. TAN(a) = 1.000 in. ⁴ J = 0.0013 in. ⁴ Cw = 0.00009 in. ⁶ a = 0.42 in. ro(kar) = 0.55 in. H = 0.633 in.	2L5x3-1/2x3/8SLBB d = 3.50 in. b = 5.000 in. t = 0.375 in. k = 0.813 in. wt./ft. = 20.800 plf. A = 6.1 in. ² lx = 6.3100 in. ⁴ Sx = 2.3800 in. ³ rx = 1.02 in. y = 0.854 in. ry(0) = 2.26 in. ry(3/8) = 2.39 in. ry(3/4) = 2.54 in. ro(kar) = 2.560 in. H = 0.933 in.	HSS4x6x3/8 d = 6.00 in. b = 6.000 in. t = 0.349 in. wt./ft. = 32.500 plf. A = 8.370 in. ² lx = 79.1 in. ⁴ Sx = 19.8000 in. ³ rx = 2.9700 in. ly = 50.6 in. ⁴ Sy = 16.900 in. ³ ry = 2.38 in. Zx = 24.10 in. ³ Zy = 19.80 in. ³ J = 100.000 in. ⁴

ANEXO 25: Valores de la Relación de esfuerzo de diseño en compresión [1]

TABLE 4 Values of $\phi_c F_{cr} / F_y$, $\phi_c = 0.85$ for Determining Design Stress for Compression Members for Steel of Any Yield Stress^[a]							
λ_c	$\phi_c F_{cr} / F_y$	λ_c	$\phi_c F_{cr} / F_y$	λ_c	$\phi_c F_{cr} / F_y$	λ_c	$\phi_c F_{cr} / F_y$
0.02	0.850	0.82	0.641	1.62	0.284	2.42	0.127
0.04	0.849	0.84	0.632	1.64	0.277	2.44	0.125
0.06	0.849	0.86	0.623	1.66	0.271	2.46	0.123
0.08	0.848	0.88	0.614	1.68	0.264	2.48	0.121
0.10	0.846	0.90	0.605	1.70	0.258	2.50	0.119
0.12	0.845	0.92	0.596	1.72	0.252	2.52	0.117
0.14	0.843	0.94	0.587	1.74	0.246	2.54	0.116
0.16	0.841	0.96	0.578	1.76	0.241	2.56	0.114
0.18	0.839	0.98	0.568	1.78	0.235	2.58	0.112
0.20	0.836	1.00	0.559	1.80	0.230	2.60	0.110
0.22	0.833	1.02	0.550	1.82	0.225	2.62	0.109
0.24	0.830	1.04	0.540	1.84	0.220	2.64	0.107
0.26	0.826	1.06	0.531	1.86	0.215	2.66	0.105
0.28	0.823	1.08	0.521	1.88	0.211	2.68	0.104
0.30	0.819	1.10	0.512	1.90	0.206	2.70	0.102
0.32	0.814	1.12	0.503	1.92	0.202	2.72	0.101
0.34	0.810	1.14	0.493	1.94	0.198	2.74	0.099
0.36	0.805	1.16	0.484	1.96	0.194	2.76	0.098
0.38	0.800	1.18	0.474	1.98	0.190	2.78	0.096
0.40	0.795	1.20	0.465	2.00	0.186	2.80	0.095
0.42	0.789	1.22	0.456	2.02	0.183	2.82	0.094
0.44	0.784	1.24	0.446	2.04	0.179	2.84	0.092
0.46	0.778	1.26	0.437	2.06	0.176	2.86	0.091
0.48	0.772	1.28	0.428	2.08	0.172	2.88	0.090
0.50	0.765	1.30	0.419	2.10	0.169	2.90	0.089
0.52	0.759	1.32	0.410	2.12	0.166	2.92	0.087
0.54	0.752	1.34	0.401	2.14	0.163	2.94	0.086
0.56	0.745	1.36	0.392	2.16	0.160	2.96	0.085
0.58	0.738	1.38	0.383	2.18	0.157	2.98	0.084
0.60	0.731	1.40	0.374	2.20	0.154	3.00	0.083
0.62	0.724	1.42	0.365	2.22	0.151	3.02	0.082
0.64	0.716	1.44	0.357	2.24	0.149	3.04	0.081
0.66	0.708	1.46	0.348	2.26	0.146	3.06	0.080
0.68	0.700	1.48	0.339	2.28	0.143	3.08	0.079
0.70	0.692	1.50	0.331	2.30	0.141	3.10	0.078
0.72	0.684	1.52	0.323	2.32	0.138	3.12	0.077
0.74	0.676	1.54	0.314	2.34	0.136	3.14	0.076
0.76	0.667	1.56	0.306	2.36	0.134	3.16	0.075
0.78	0.659	1.58	0.299	2.38	0.132	3.18	0.074
0.80	0.650	1.60	0.291	2.40	0.129	3.20	0.073
[a] When element width-to-thickness ratios exceed λ_r , see Appendix B5.3 . Values of $\lambda_c > 2.24$ exceed Kl / r of 200 for $F_y = 36$ Values of $\lambda_c > 2.64$ exceed Kl / r of 200 for $F_y = 50$							

ANEXO 26: Factores de longitud efectiva para columnas aisladas [19]

		Relative translation prevented				Relative translation permitted			
		(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
T	Ro	Fixed	Fixed	Free	Free	Fixed	Fixed	Free	Free
	Tr	Fixed	Fixed	Fixed	Fixed	Free	Free	Free	Free
B	Ro	Fixed	Free	Fixed	Free	Fixed	Free	Fixed	Free
	Tr	Fixed	Fixed	Fixed	Fixed	Fixed	Fixed	Fixed	Fixed
K_T		0.5	0.7	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0	Unstable
K		0.65	0.80	0.80	1.0	1.2	2.0	2.10	Unstable

T = Top
B = Bottom

Ro = Rotation
Tr = Translation

K_T = Theoretical K value
 K = Recommended or design K value



ANEXO 27: Tamaño mínimo de soldadura a filete [1]

TABLE J2.4 Minimum Size of Fillet Welds^[b]	
Material Thickness of Thicker Part Joined (in.)	Minimum Size of Fillet Weld ^[a] (in.)
To $\frac{1}{4}$ inclusive	$\frac{1}{8}$
Over $\frac{1}{4}$ to $\frac{1}{2}$	$\frac{3}{16}$
Over $\frac{1}{2}$ to $\frac{3}{4}$	$\frac{1}{4}$
Over $\frac{3}{4}$	$\frac{5}{16}$
^[a] Leg dimension of fillet welds. Single pass welds must be used. ^[b] See Section J2.2b for maximum size of fillet welds.	



ANEXO 28: Hoja de datos de Cellocord P

SMAW

Aceros de Bajo Carbono



CELLOCORD P

Electrodo revestido de tipo celulósico de gran penetración, especial para posición vertical ascendente.
Ideal para la soldadura de tanques y estructuras de acero al carbono.
Por su gran fuerza de arco se puede emplear sobre superficies galvanizadas.

Clasificación	
AWS A5.1 / ASME-SFA 5.1	E6010

Aprobaciones	Grados
ABS	3
LR	3m
GL	3

Análisis Químico del Metal Depositado (valores típicos) [%]

C	Mn	Si	P	S	Mo	Ni	Cr	Cu	Otros
0,08	0,55	0,25	máx. 0,01	máx. 0,01	-	-	-	-	-

Propiedades Mecánicas del Metal Depositado

Tratamiento Térmico	Resistencia a la Tracción [MPa (psi)]	Límite de Fluencia [MPa (psi)]	Elongación en 2" [%]	Energía Absorbida ISO-V (-20°C) [J]
Sin tratamiento	450 – 550 (62 250 – 79 750)	mín. 360 (52 200)	22 30	mín. 70

Conservación del Producto

- Mantener en un lugar seco y evitar humedad.
- No requiere almacenamiento bajo horno.

Posiciones de Soldadura

P, H, Va, Sc, Vd.



Parámetros de Soldeo Recomendados

Para corriente continua (DC): Electrodo al positivo DCEP / Electrodo al negativo DCEN						
Diámetro	[mm]	2,50	3,25	4,00	5,00	6,30
	[pulgadas]	3/32	1/8	5/32	3/16	1/4
Amperaje mínimo		50	80	110	140	190
Amperaje máximo		70	120	150	200	250

Aplicaciones

- Aceros de construcción no aleados (estructurales).
- Para soldar aceros de bajo carbono, cuando se desea penetración profunda, poca escoria y cordones no abultados.
- Fabricación de muebles metálicos, catres, mesa, etc.
- Carpintería metálica liviana.

ANEXO 29: Hoja de datos y precio de Lana de fibra de vidrio (50mm)



Lana de fibra vidrio Aislanglass

SKU: 116390-6

[Ver características del producto](#)

S/. 59.90 C/U

Acumula: 59 CMR Puntos

Métodos de envío y retiro:

✓	Despacho a Domicilio	Ver Opciones
✗	Retiro en Tienda	No Disponible

Cantidad [+ Agregar al carro](#)

Imagen

Ficha Técnica

Atributos	Detalle
Características	Aislante térmico y acústico para tabiquería
Marca	Aislanglass
Unidades	1 paquete
Medidas	1.2 x 12 m
Rendimiento	14.4 m2
Espesor	50 mm
Material	Fibra de vidrio
Uso	Este aislante térmico y absorbente acústico se usa principalmente en construcción de viviendas, edificios, bodegas e industrias. En industrias se utiliza además para aislar cañerías, calderas y espacios que por sus requerimientos específicos necesitan temperaturas adecuadas para su óptimo funcionamiento. Se aplica en superficies tales como cielos, muros o pisos en forma continua y sin uniones.
Recomendaciones	No alérgica. Volumen inalterable a través del tiempo. Libre de todo tipo de olores y resinas. Resistente al moho y la pudrición. No absorbe humedad.
Nota importante	El precio del producto no incluye: Accesorios, artículos decorativos, armado ni flete.
Información adicional	Los precios y zona de reparto son válidos solo para Lima Metropolitana y balnearios al sur hasta el km 132.

ANEXO 30: Bisagra armillar (soldable) 3pulgadas



Bisagra armillar 3 pulgadas (7,62 cm largo) x 2 unidades Fixser

SKU: 16094

☆☆☆☆☆

Sea el primero en escribir una reseña

Mostrar precio en:
CUNDINAMAR ▾

\$5.500

Unidades disponibles: 149
Acumula: 5 CMR Puntos

Métodos de envío y retiro:

- ✓ Despacho a Domicilio [Ver Opciones](#)
- ✓ Retiro en Tienda [Ver Opciones](#)

[Ver disponibilidad](#) de este producto en Tiendas

Envío mismo día no aplica para materiales de construcción

Calcula el valor de tu cuota CMR

Cantidad

+ Agregar al carro

+ Agregar a lista

Otros medios de pago

[Enviar](#) [Twitter](#) [+1](#) [Pinterest](#) [Email](#)

Comparte en tus redes

Ficha Técnica

Atributos	Detalle
Tipo	Bisagras
Medidas	3 pulgadas (7,62 cm largo)
Características	Bisagra armillar, 2 unidades, de alta resistencia y duración, fácil de instalar.
Material	Acero
Uso	De uso para puertas metálicas
Color	Gris

ANEXO 31: Accesorios PVC-P ½" Pavco



Codo pvc-p 1/2" x45° simple presión Pavco

SKU: 30894-3

[Ver características del producto](#)

8+1 0

[Me gusta](#) 0

S/. 0.80 C/U

Métodos de envío y retiro:

☒ [Despacho a Domicilio](#) [Ver Opciones](#)

☒ [Retiro en Tienda](#) [No Disponible](#)

Cantidad [+ Agregar al carro](#)

¿Por qué comprar en Sodimac.com?

- Tenemos todo un mundo de ideas para mejorar tu hogar y más de 20.000 productos disponibles para ti.
- Ahora puedes obtener tu compra de manera más rápida y segura.
- Nuestro servicio de compra asistida te ayudará a realizar tu mejor compra online o por teléfono, tan solo llamando al 615 6002.

Ficha Técnica

Atributos	Detalle
Características	A presión
Medidas	1/2"
Uso	Para agua fría
Marca	Pavco
Material	Pvc
Tipo	Codo
Nota importante	El precio del producto no incluye: Accesorios, artículos decorativos, armado ni flete.
Ángulo	45°
Información adicional	Los precios y zona de reparto son válidos solo para Lima Metropolitana y balnearios al sur hasta el km 132.



Tubo pvc-p 1/2" 5 m sp Pavco

SKU: 30876-5

[Ver características del producto](#)

8+1 0

[Me gusta](#) 0

S/. 8.20 C/U

Acumula: 8 CMR Puntos

Métodos de envío y retiro:

☒ [Despacho a Domicilio](#) [Ver Opciones](#)

☒ [Retiro en Tienda](#) [No Disponible](#)

Cantidad [+ Agregar al carro](#)

¿Por qué comprar en Sodimac.com?

- Tenemos todo un mundo de ideas para mejorar tu hogar y más de 20.000 productos disponibles para ti.
- Ahora puedes obtener tu compra de manera más rápida y segura.
- Nuestro servicio de compra asistida te ayudará a realizar tu mejor compra online o por teléfono, tan solo llamando al 615 6002.

Ficha Técnica

Atributos	Detalle
Características	Tubo de PVC virgen sin estabilizante de plomo, lo cual reduce el impacto ambiental.
Marca	Pavco
Material	PVC-p
Color	Gris Orgánico
Diámetro	1/2"
Largo	5 m
Usos	Agua fría
Recomendaciones	Tener cuidado en la carga, transporte y descarga del material.
Nota importante	El precio del producto no incluye: Accesorios, artículos decorativos, armado ni flete.
Información adicional	Los precios y zona de reparto son válidos solo para Lima Metropolitana y balnearios al sur hasta el km 132.

ANEXO 32: Codo 90° rosca hembra bronce fundido



Codo bronce 3/8" HI HI. - .

190315

Valor Unidad

Internet \$2.090

* Precios exclusivos internet y venta telefónica.



1

Unidad

COMPRAR 

Simulador de Cuotas

Cuotas de:

0 ▼



CAE:

Costo Total:

¿Necesitas ayuda? Llámanos al : **600 600 3279**

Lunes a Sábado 08:30 a 22:00 hrs
Domingo y festivos 09:00 a 22:00 hrs



* Solo despacho región metropolitana

Ver más > [Codos](#)

DESCRIPCION

Se utilizan para reducir espacio de conexión o cuando una instalación requiere ser desarmada fácilmente, por ejemplo la instalación de maquinaria, redes de aire, etc.

Medida: 3/8"HI HI.

Material: Bronce.

Origen: Chile.

Tamaño para despacho: Pequeño

* Precios válidos exclusivamente para Easy.cl y venta telefónica.

* Producto sujeto a disponibilidad de stock.



ANEXO 33: Tee 3/8" rosca hembra bronce fundido



* Solo despacho región metropolitana

Ver más > [Fitting de Bronce](#)

DESCRIPCION

- Permite realizar una derivación desde una cañería en 90°.
- Sirven para alimentar a un conjunto de artefactos, como los de un baño.
- Material resistente.
- Fácil de instalar.

Modelo: SO SO SO.

Medida:

- Diámetro: 3/8".

Contenido: 1 TEE.

Material: Bronce.

Origen: Importado.

Garantía: 3 meses (por fallas de fabricación).

Tamaño para despacho: Pequeño

* Precios válidos exclusivamente para Easy.cl y venta telefónica.

* Producto sujeto a disponibilidad de stock.

□

TEE de bronce 3/8" SO SO SO. - NIBSA

191367

 Este producto Requiere Instalación

Valor Unidad

Internet \$790

* Precios exclusivos internet y venta telefónica.

 1 Unidad

COMPRAR 

Simulador de Cuotas

Cuotas de:

0 ▼



CAE:

Costo Total:

¿Necesitas ayuda? Llámanos al : 600 600 3279

Lunes a Sábado 08:30 a 22:00 hrs
Domingo y festivos 09:00 a 22:00 hrs



ANEXO 34: Datos técnicos de tubo cobre tipo m 3/8"



Tubería rígida de cobre Tipo "M"

Productos, Medidas y Especificaciones

Descripción General

Tubería de cobre tipo "M" en medidas nominales de 1/4" a 4".

Especificaciones Generales

La tubería rígida de cobre se fabrica bajo la Norma ASTM B88. Se usa en instalaciones tomas Domiciliarias de Agua fría y caliente en casa de habitación y edificios, donde no se exceda de las presiones de trabajo a las que fue diseñada así como, de las velocidades del fluido de 3m/seg, evitando con ello un desgaste prematuro por el efecto de erosión-corrosión en la pared de la tubería.

TUBERIA DE COBRE TIPO M

PRESENTACION TRAMOS STANDARD DE 6.10 MTS.

MEDIDA NOMINAL	DIAMETRO EXTERIOR	GRUESO PARED	PESO KGS. POR METRO	PESO KGS. POR TRAMOS	PRESION MAXIMA Lbs. x Pulg. ²	PRESION CONSTANTE Lbs. x Pulg. ²	FLUJO EN LITROS X MINUTO
1/4"	.375"	.0255"	.159	.966	6133	1226	
6.35 mm.	9.525 mm.	.635 mm.					
3/8"	.500"	.025"	.216	1 312	4500	900	8.507
9.5 mm.	12.700 mm.	.635 mm.					
1/2"	.625"	.028"	.304	1.846	4032	806	15.382
12.7 mm.	15.875 mm.	.711 mm.					
3/4"	.875"	.032"	.488	2.980	3291	658	40.333
19 mm.	22.225 mm.	.812 mm.					
1"	1.125"	.035"	.692	4.214	2800	560	83.18
25 mm.	28.575 mm.	.889 mm.					
1 1/4 "	1.375 "	.042 "	1.015	6.184	2749	550	148.58
32 mm.	34.925 mm.	.966 mm.					
1 1/2 "	1.625 "	.049 "	1.400	8.530	2713	542	235.94
38 mm.	41.275 mm.	1.24 mm.					
2"	2.125"	.058"	2.172	13.245	2456	491	495.86
51 mm.	53.975 mm.	1.47 mm.					
2 1/2 "	2.625 "	.065 "	3.020	18.380	2228	445	876.01
64 mm.	66.675 mm.	1.68 mm.					
3"	3.125"	.072"	3.988	24.285	2073	414	1420.09
76 mm.	79.375 mm.	1.83 mm.					
3 1/2 "	3.625 "	.083 "	5.327	32.495	2060	412	
89 mm.	92.075 mm.	2.11 mm.					
4"	4.125"	.095"	6.934	42.293	2072	141	3025.71
102 mm.	104.77 mm.	2.41 mm.					
5"	5.125"	.109"	9.910	60.451	1914	383	5222.62
128 mm.	142.87 mm.	2.77 mm.					

ANEXO 35: Hoja técnica válvula de alivio 3/8" serie 500



500 Series

Adjustable Popoff & Inline Relief Valves
0.5 to 150 psig (10 bar)



Features

Popoff or inline valves
Adjustable crack pressure
Zero leakage
Optional factory preset
Accurate set pressure
Wide range of cracking pressure
Tamper-proof adjustment
100% seat leakage tested
PED certifications and CE marking available for most models

Applications

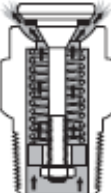
- System overpressure protection
- Storage tanks
- Freon® recovery systems
- Medical equipment
- Refrigeration & heating equipment
- Measuring & dispensing pumps
- Communications equipment
- Process control instruments
- R & D pilot plants
- Vacuum pump safety

Technical Data

Body Construction Materials	Aluminum, brass, 303 or 316 stainless steel
O-ring Materials	Buna N, ethylene propylene, neoprene, silicone, PTFE, or Viton®
Spring Materials	302 stainless steel or 17-7 PH stainless steel
Operating Pressure	Vacuum to 200 psig (14 bar)
Inline Valve Proof Pressure	400 psig (28 bar)
Inline Valve Burst Pressure	Above 500 psig (34 bar)
Temperature Range	-320° F to +400° F (-196° C to +204° F) Based on o-ring & body material, see "How to Order"
Connection Sizes	1/8 inch to 1 1/2 inch

Note: Proper filtration is recommended to prevent damage to sealing surfaces.

How it Works

 Closed Resilient seal design prevents leakage. Sealing efficiency increase with increased pressure up to cracking pressure. Metal-to-metal poppet stop supports spring load, prevents sticking.	 Open When system pressure overcomes spring force, poppet opens. As pressure continues to rise, variable orifice between poppet and body increases, allowing greater flow.	Reseating Resilient seal automatically establishes line of contact with spherical seat. Seal provides zero leakage at reset.
---	---	--

500 Series

Flow at Cracking Pressure

Elastomeric seals: 5cc/min
PTFE: 0.02 scfm

Cracking Pressure Tolerance: $\pm 5\%$

Cracking pressure on initial crack may be higher than cracking pressure tolerance due to inherent characteristics of seals. Cracking pressure tolerance will be greater than $\pm 5\%$ if set pressure is ≤ 1 psi. (Consult factory)

Leakage, Ascending Pressure

Standard seals: 0 to 95% of cracking pressure
Silicon & EPDM: 0 to 80% of cracking pressure

PTFE:

Cracking pressures up to 2.4 psi: 4cc/min at 0 to 50% of cracking pressure

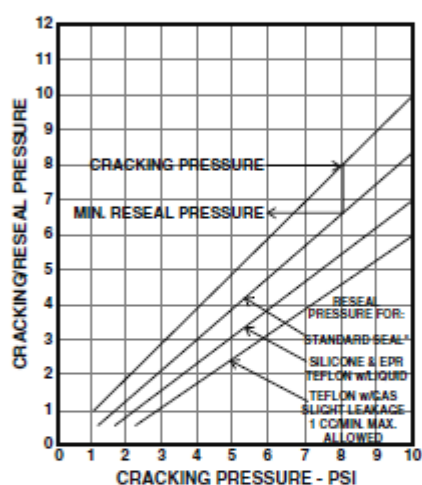
Cracking pressures 2.5 psi and higher: 1cc/min at 0 to reseal pressure, 10cc/min from reseal to 90% of cracking pressures

Leakage at Reseal Pressure

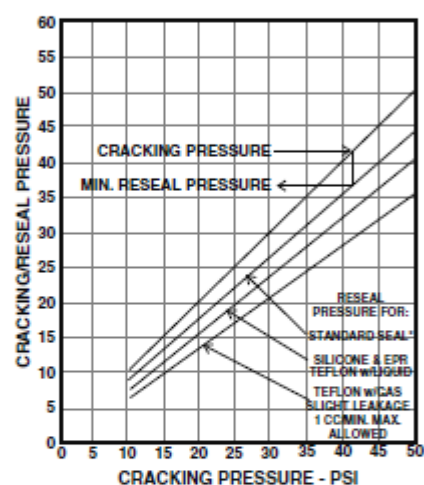
All elastomeric seals: Zero

PTFE: 1cc/min for cracking pressures 2.5 psi and higher

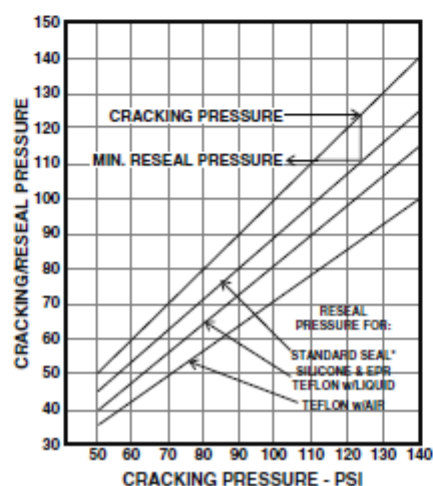
0 to 10 psi (0.7 bar)



10 to 50 psi (0.7 - 3 bar)



50 to 140 psi (3 - 10 bar)



* Standard seals:
Buna N (559)
Viton® (532)
Neoprene (533)

ANEXO 36: Hoja técnica válvula bronce 3/8" serie 80-100

80-100 SERIES Bronze LP-Gas Ball Valve

Female NPT Thread, 600 CWP (psig), Cold Non-Shock. 250 psig LP-Gas.
150 psig Saturated Steam.
Vacuum Service to 29 inches Hg.
MSS SP-110 compliant.

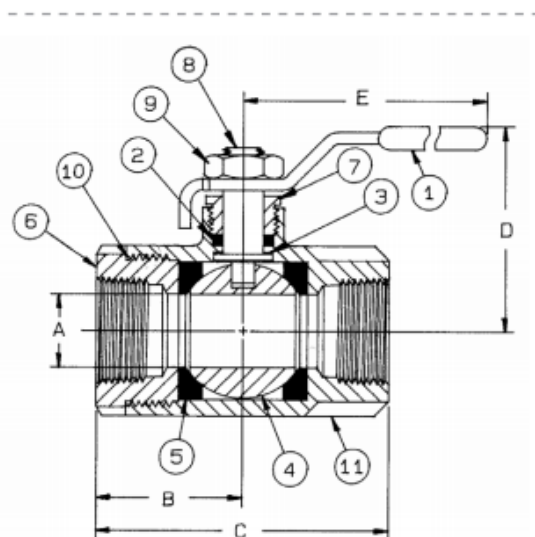


FEATURES

- UL Listed for LP-Gas, natural gas, flammable liquid and heated oil
- Large ports to reduce pressure drop
- Reinforced seats
- Blow-out-proof stem design
- Adjustable packing gland
- Two piece bronze body

UL LISTINGS

- Guide YSDT: LP-Gas shut-off valve.
- Guide YRPV: Gas shut-off valve for use with natural and manufactured gases.
- Guide YRBX: Flammable liquid shutoff valve.
- Guide MHKZ: No. 6 oil at 250°F.



Note: 250 psig Max. UL Listing.

OPTIONS AVAILABLE: (More information in Section J)

(SUFFIX)	OPTION	SIZES
-01	Standard Configuration	All
-07-	Tee Handle, Steel	1/4" to 3"
-27-	SS Latch-Lock Lever & Nut	1/4" to 3"

STANDARD MATERIAL LIST

PART	MATERIAL
1	Lever and grip
2	Stem packing
3	Stem bearing
4	Ball
5	Seat (2)
6	Retainer
7	Gland nut
8	Stem
9	Lever nut
10	Seal
11	Body

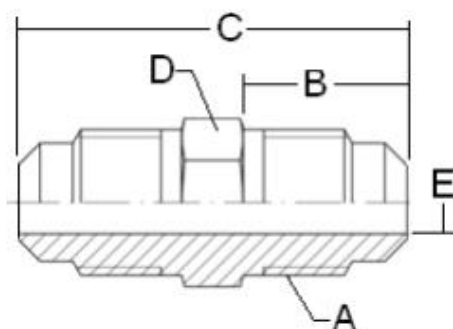
PRODUCT NUMBER	SIZE	A	B	C	D	E	WT.
80-101-01	1/4"	0.37	1.03	2.06	1.75	3.87	0.60
80-102-01	3/8"	0.37	1.03	2.06	1.75	3.87	0.56
80-103-01	1/2"	0.50	1.12	2.25	1.81	3.87	0.63
80-104-01	3/4"	0.68	1.50	3.00	2.12	4.87	1.39
80-105-01	1"	0.87	1.68	3.37	2.25	4.87	1.72
80-106-01	1.25"	1.00	2.00	4.00	2.62	5.50	3.26
80-107-01	1.5"	1.25	2.18	4.37	2.87	5.50	4.57
80-108-01	2"	1.50	2.34	4.68	3.06	5.50	5.56
80-109-01	2.5"	2.50	3.25	6.50	4.12	8.00	17.25
80-100-01	3"	2.50	3.37	6.75	4.12	8.00	18.60

ANEXO 37: Datos de acople flare 45° 3/8" y tuerca



Fitting, Utility Grade, 45° Flare Union, Brass

The information below lists the required dimensional, chemical and physical characteristics of the products in this purchase order. If the order received does not meet these requirements, it may result in a supplier corrective action request, which could jeopardize your status as an approved vendor. Unless otherwise specified, all referenced consensus standards must be adhered to in their entirety.



Part Number	Tube Size	A	B	C	D	E	Working Pressure (psi)
		UNF	Shoulder Length +/- 0.008"	Length +/- 0.01"	WAF +/- 0.008"	Bore I.D. +/- 0.008"	
69523	5/16	1/2-20	0.563	1.338	0.500	0.216	2000
69524	3/8	5/8-18	0.630	1.504	0.625	0.280	2000

Safety Factor: 4:1

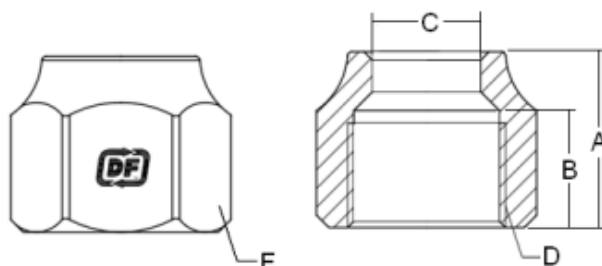
Specification Requirements:

- Standard for dimensions: See Dimensions Above
- Material: C36000 Brass or equivalent; In compliance with European Union Directive 2002/95/EC (RoHS). In addition, minimum Copper content 57%, maximum alloying elements 5%, remainder zinc.
- Threads: UNF per ASME B1.1
- Marking: DF® (size permitting)
- Finish: Plain, as processed



Fitting, Utility Grade, Short Nut, Brass

The information below lists the required dimensional, chemical and physical characteristics of the products in this purchase order. If the order received does not meet these requirements, it may result in a supplier corrective action request, which could jeopardize your status as an approved vendor. Unless otherwise specified, all referenced consensus standards must be adhered to in their entirety.



Part Number	Threads (D)	A	B	F	C
		Height	Recess Shoulder Depth	WAF	I.D.
		+/- .008"			+0.010-/0
67455	5/8-18	0.689	0.453	0.807	0.386
67456	3/4-16	0.827	0.551	0.925	0.512

Specification Requirements:

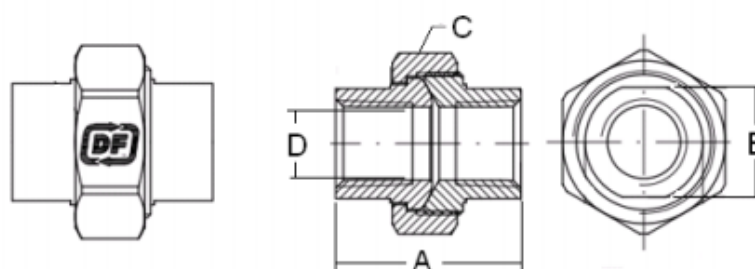
- Standard for dimensions: See Dimensions Above
- Material: UNS C37700 Brass or equivalent; In compliance with European Union Directive 2002/95/EC (RoHS). In addition, minimum Copper content 57%, maximum alloying elements 5%, remainder zinc.
- Threads: UNF per ASME B1.1
- Marking: DF® (size Permitting)
- Finish: Plain, as processed

ANEXO 38: Datos de acople bronce 3/8" universal

Page 1 of 1	Fastenal Product Standard	REV-00
Date May 14, 2014	FASTENAL	FIT.U.UNION.BRS

Fitting, Utility Grade, Union, Brass

The information below lists the required dimensional, chemical and physical characteristics of the products in this purchase order. If the order received does not meet these requirements, it may result in a supplier corrective action request, which could jeopardize your status as an approved vendor. Unless otherwise specified, all referenced consensus standards must be adhered to in their entirety.



Part Number	NPT	A	B	C	D	Working Pressure (psi)
		OAL	WAF	WAF	Bore I.D.	
		+/- 0.02"	+/- 0.02"	+/- 0.008"		
68581	1/4-18	1.319	0.658	1.063	0.433	1200
68582*	3/8-18	1.532	0.866	1.250	0.559	1200

*Forged

The tolerance of "C" of forged item shall be +/-0.02"

Safety Factor = 4:1

Specification Requirements:

- Standard for dimensions: See Dimensions Above
- Material: C36000 (or C37700 forged) Brass or equivalent; In compliance with European Union Directive 2002/95/EC (RoHS). In addition, minimum Copper content 57%, maximum alloying elements 5%, remainder zinc.
- Threads: NPT per ASME B1.20.1
- Marking: DFI® (size permitting)
- Finish: Plain, as processed

ANEXO 39: Hoja de datos de válvula solenoide criogénica 3/8"

ASCO®

Válvula Solenoide Criogénica / CO₂ Líquido 1/4" a 1"



2/2
Série
Criogenia Co₂ Líq.

APRESENTAÇÃO

- Esta linha de válvulas de sufixo "LT", são especialmente projetadas para aplicações em fluidos criogênicos, tais como: Oxigênio Líquido (-183°C), Argônio Líquido (-186°C) e Nitrogênio Líquido (-196°C).
- Todas as válvulas desta linha, recebem especial atenção quanto à limpeza (isentas de graxas e contaminantes) e verificadas com "luz negra" para detecção de resíduos de hidrocarbonetos.
- Normalmente Fechada(NF): aberta quando energizada;

INFORMAÇÕES GERAIS

Pressão diferencial
Tempo de resposta

Ver "Tabela de Especificação" [1 bar = 100 kPa]
10 - 30 ms (válvulas de 1/4" a 3/8")
75 - 100 ms (válvulas de 1/2" a 1")

Fluidos (P)	Temperatura	Vedações
Fluidos criogênicos CO ₂ Líquido	- 196° C a + 90° C - 60° C a + 60° C	PTFE UR (Uretano)

MATERIAIS EM CONTATO COM FLUÍDO

	Válvulas Criogênicas	Válvulas de CO ₂ Líquido
Corpo	Latão	Latão Niquelado
Base-Solenoide	Aço Inox 305 e 430F	Aço Inox 305 e 430F
Núcleo móvel / fixo	Aço Inox 430F	Aço Inox 430F
Mola	Aço Inox 302	Aço Inox 302
Assento	Latão	Aço Inox 303
Vedação externa	PTFE	PTFE
Disco de Vedação	PTFE reforçado	PTFE
Anéis do pistão	PTFE grafitado	----
Anel de defasagem	Cobre	Cobre

CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS

Tensão standart: C.C.(=): 12V - 24V
C.A.(~): 24V/ 60Hz - 120V/ 60Hz - 240V / 60Hz
outras tensões sob encomenda (consulte a ASCO)

Classe de Isolamento Standart	Tamanho da Bobina	Potência Nominal / Consumo				Bobina Sobressalente		
		C.C.		C.A.		Prefixo SC *		
		Watts	VA	Watts	VA	24 V	120/60 Hz	240/60 Hz
F	M-6	15,3	13,8	28	37,6	400325-242	400325-225	400325-228
F	M-XX	11,2	11,8	23	55	400425-142	400425-125	400425-128
F	M-XX	-	16,7	35	78	-	400425-225	400425-228
H	M-XX	29,5	16,7	35	78	400426-554	400426-228	400426-228

* Para outros tipos de bobinas consultar página 05.

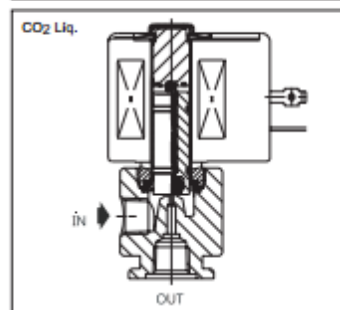
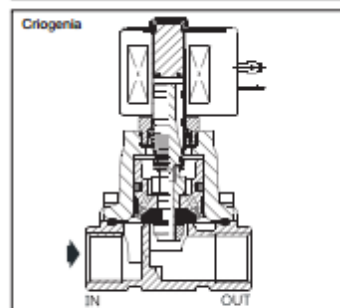


TABELA DE ESPECIFICAÇÃO

Conexão NPT	Orifício (mm)	KV	Pressão Dif. (Kg/cm²)		Mínima Temperatura do fluido	Prefixos				Número Básico de Catálogo	Construção	Potência da Bobina (Watts) Classe de Isolamento		
			Min.	Máxima		Áreas Classificadas			IP-65			C.A.	C.C.	
						Ex d m	Ex e mb	Ex d						
														EF (EV)
Corpo em Latão												SC		
Aplicações Criogênicas, Normalmente Fechada.														
1/4"	5,6	0,48	0	7	2,1	-196	•	①	•	•	8263-205LT	1	16,7 / F	11,2 / F
	7,1	0,6	0	2,7	1,2	-196	•	②	•	•	8263-209LT	1A	11,8 / F	11,2 / F
3/8"	5,6	0,48	0	7	2,1	-196	•	①	•	•	8263B206LT	1	16,7 / F	11,2 / F
	7,1	0,6	0	2,7	1,2	-196	•	②	•	•	8263A210LT	1A	11,8 / F	11,2 / F
1/2"	16	3,2	0	6,3	3,5	-196	•	-	•	•	8222E002LT	2	16,7 / H	29,5 / H
3/4"	19	5,1	0	6,3	3,5	-196	•	-	•	•	8222F003LT	2	16,7 / H	29,5 / H
1"	25	11,6	0,34	14	7	-196	•	-	•	•	8210C078LT	3	16,7 / H	29,5 / H
Aplicações com CO ₂ Líquido, Normalmente Fechada.														
1/8"	1,2	0,05	0	69	69	-60	•	-	•	•	8264D009 ④	4	13,8 / F	15,3 / F
	2,4	0,17	0	21	21	-60	•	-	•	•	8264D010 ④	4	13,8 / F	15,3 / F

OPÇÕES E ACESSÓRIOS

- Conexão roscada tipo BSP;
- Outros (consultar fábrica).

INSTALAÇÃO

- Instruções de instalação/manutenção incluídas com o produto;
- Vista explodida da válvula mostrando componentes do kit de reparo fornecida sob requisição;

Dimensões, Pesos e Kit de Reparo.

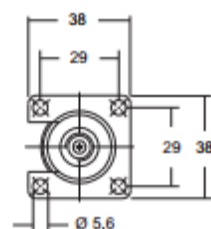
Construção No.	H	K	L	P	W	Kit de Reparo *		Peso Aprox. (kg)
						C.A.	C.C.	
1	83	43	48	68	45	FV-182785	FV-200541	0,7
1A	83	43	48	68	45	FV-182786	FV-200993	0,7
2	119	80	70	104	59	FV-164230	FV-164230	1,2
3	125	82	73	108	58	FV-304065	FV-306399	1,3
4	72	32	38	55	38	FV-098650	FV-099893	2,8

Observações:

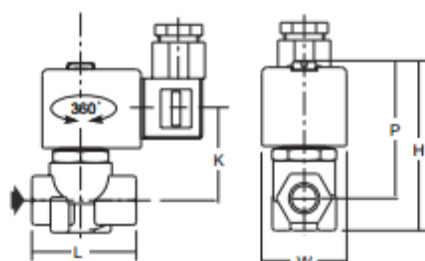
- Dimensões em "mm" para válvulas montadas com bobinas prefixo "SC". Pequenas variações podem ocorrer para montagem com outras bobinas.

* Kit de reparo para a versão com bobina Ex d, consultar a Ascoval.

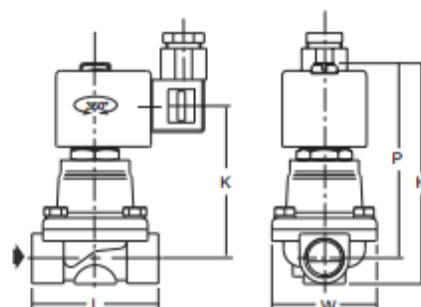
Detalhe do
Suporte de Fixação



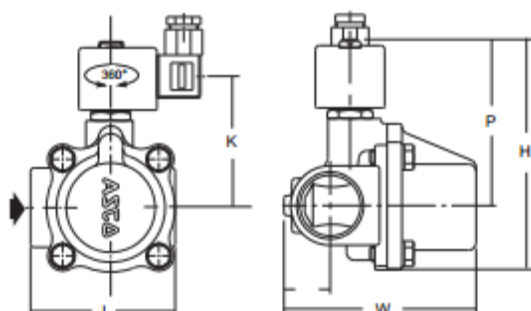
Construção 1



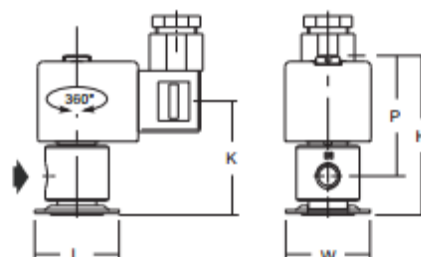
Construção 2



Construção 3



Construção 4



ANEXO 40: Controlador lógico programable twido

Ficha de producto Características

TWDLCAA24DRF

CPU extendible Twido - alimentac 100-240 V
CA - 14 E 24 V CC - 10 S y relé



Principal

Rango de producto	Twido
Tipo de producto o componente	Controlador de base compacta
Número de E/S digitales	24
Número de entrada digital	14
Tensión de entrada digital	24 V
Tipo de voltaje entrada discreto	CC
Número de salida digital	10 relé
Nº mód. expansión de E/S	4
Tensión de alimentación	100...240 V AC
Uso de la ranura	Cartucho mem o cartucho de reloj tiempo real
Datos copiados	RAM interna lito 30 días 10 hrs 10 yr
Tipo de conexión integrada	Adaptador interfaz enlace serie RS232C/RS485 Alimentación Enlace serie sin aislar mini DIN modo Modbus/de carácter maestro/esclavo RTU/ASCII RS485 dúplex med. 38.4 kbit/s
Función complementaria	PID Procesamiento de evento

Complementario

Lógica de entrada digital	Recep. o fuert.
Límites de tensión de entrada	20.4...28.8 V
Corriente de entrada digital	7 mA I0.2 a I0.13 11 mA I0.0 a I0.1
Impedancia de entrada	2100 Ohm I0.0 a I0.1 3400 Ohm I0.2 a I0.13
Tiempo de filtro	35 µs + tiempo de filtro programado para I0.0 a I0.5 en estado 1 40 µs + tiempo de filtro programado para I0.6 a I0.8 en estado 1 45 µs + tiempo de filtro programado para I0.0 a I0.5 en estado 0 150 µs + tiempo de filtro programado para I0.6 a I0.8 en estado 0
Aislamiento entre canal y lógica interna	1500 Vrms para 1 minuto
Resistencia de aislamiento entre canal	Ninguno
Carga mínima	0,1 mA
Resistencia de los contactos	≤ 30000 µOhm
Corriente de carga	2 A 240 V AC resistivo 30 cyc/mn salidas relé 2 A 30 V CC resistivo 30 cyc/mn salidas relé 2 A 240 V AC inductivo 30 cyc/mn salidas relé 2 A 30 V CC inductivo 30 cyc/mn salidas relé
Endurancia mecánica	≥ 20000000 cycles salidas relé
Endurancia eléctrica	≥ 100000 cycles salidas relé
Consumo de corriente	5 mA 5 V CC en estado 0 36 mA 5 V CC en estado 1 55 mA 24 V CC en estado 1
Conexión de E/S	Bornero de tornillo no extraíble
Número de entrada/salida	≤ 120 bornero de resorte con módulo de expansión de E/S ≤ 152 conector HE-10 con módulo de expansión de E/S ≤ 88 bornero de tornillo extraíble con módulo de expansión de E/S

Frecuencia asignada de empleo	50/60 Hz
Límites tensión alimentación	85...264 V
Límites de Frecuencia asignada de empleo	47...63 Hz
Corriente de salida fuente de alimentación	0,25 A detector 24 V CC
Corriente de entrada de alimentación	450 mA
Corriente de entrada	≤ 40 A
Tipo de protección	Protección de alimentac. fusible interno
Consumo	33 VA 100 V 40 VA 264 V
Resistencia de aislamiento	> 10 MΩm a 500 V, entre suministro y terminales a tierra > 10 MΩm a 500 V, entre E/S y terminales a tierra
Memoria de programa	3000 instrucciones
Hora exacta para 1 Kinstrucción	1 ms
Línea aérea del sistema	0,5 ms
Descripción de memoria	RAM interna 256 bits internos, no flotantes, no trigonométricos RAM interna 3000 palabras internas, no flotantes, no trigonométrico RAM interna 128 temporizadores, no flotantes, no trigonométrico RAM interna 128 contadores, no flotantes, no trigonométrico RAM interna palabras dobles, no flotantes, no trigonométrico
Ranuras libres	1
Reloj en tiempo real	Sin
Número de entrada de conteo	1 20000 Hz 32 bits 3 5000 Hz 16 bits
Puntos de ajuste analógicos	1 punto ajustable de 0 a 1.023 1 punto ajustable de 0 a 511
DESC	CE
LED de estado	1 LED verde PWR 1 LED verde RUN 1 LED rojo error de módulo (ERR) 1 LED luz piloto usuario (STAT) 1 LED por canal verde estado E/S
Peso del producto	0,305 kg

Entorno

Inmunidad a microcortes	10 ms
Resistencia dieléctrica	1500 V para 1 minuto, entre suministro y terminales a tierra 1500 V para 1 minuto, entre E/S y terminales a tierra
Certificados de producto	CSA UL
Temperatura ambiente de funcionamiento	0...55 °C
Temperatura ambiente de almacenamiento	-25...70 °C
Humedad relativa	30...95 % sin condensación
Grado protección IP	IP20
Altitud máxima de funcionamiento	0...2000 m
Altitud de almacenamiento	0...3000 m
Resistencia a las vibraciones	0.075 mm 10...57 Hz perfil DIN simétrico de 35 mm 1.6 mm 2...25 Hz placa o panel con juego de fijación 1 gn 57...150 Hz perfil DIN simétrico de 35 mm 4 gn 25...100 Hz placa o panel con juego de fijación
Resistencia a los choques	15 gn 11 ms
RoHS EUR conformidad de fecha	0630
RoHS EUR status	Adecuado

Garantía contractual

Period	18 meses
--------	----------

ANEXO 41: Pantalla táctil HMI Schneider Electric



Pantalla Táctil, 3.149 x 1.259 In

SCHNEIDER ELECTRIC

Precio 📘
\$328.50 / cada uno

☒ Entrega única
☐ Auto-Reordenar Cada 1 Meses 📘

Añadir
[+ Agregar a Lista](#)

Disponibilidad para Cantidad Ir

Se espera que llegue el Mar. 11 de Ago. [strong>](#)

Enviar a: 07030 (Cambiar)

👤 ¿Cómo podemos mejorar nuestras Imágenes de Productos?

☐ Comparar

☐ Añade Cobertura de Reparación y Cambio por \$75.95 cada uno.

★ ★ ★ ★ ★ Escribe la primera reseña | [Pregunta y Respuesta](#)

Artículo # 30Z966 Mod. Fab. # HMISTO512 UNSPSC # 43211903
 Página de Catálogo # No Aplica Peso del Envío 0.8 lb

País de Origen China | El País de Origen está sujeto a cambios.

Nota: La disponibilidad del producto se actualiza en tiempo real y se ajusta continuamente. Se reservará tu producto cuando completes tu pedido. Más

Especificaciones Técnicas

Artículo	Pantalla táctil HMI STO	Ancho (In)	5.2
Tipo	Película analógica resistencia (lengüeta metálica, Placa de oro)	Altura (In)	3.6
Voltaje	24VDC	Profundidad (in)	7.3
Pantalla	3.149 x 1.259"	Para Usar Con	Schneider Electric Modicon, Allen-Bradley, Siemens, OMRON y otro automatización, PLC & unidades
Altura del Caracter (In)	1.2	Características Especiales	Pantalla táctil gráfica pequeña HMI. RS-485, Serie RS - 232C. Luz de fondo verde/naranja/rojo. USB-A, USB Mini-B
Ángulo de visión (grados.)	80	Cantidad por Paquete	1
Tipos de Puerto	Interfaz Serial COM1 RJ45		

ANEXO 42: Sensor de temperatura criogénica

Cryogenic Temperature Sensors CY7 Series

Clean room assembly keeps out contaminants.

All CY7 sensors are meticulously assembled in semiconductor grade clean rooms on state-of-the-art bonding equipment. Special effort is made to keep them free of epoxies, polyimides, fluxes, chlorine, and other contaminants which have a detrimental effect on sensor performance.

Choose the sensor style that best fits your application and level of interchangeability you want.

It's easy to pick the CY7 sensor you should use. OMEGA starts with the same basic sensor style and offers it unmounted or in a variety of mounting adapters that will simplify installation in your system. Choose from a simple cylinder that slides into a mounting hole, metric or SAE threaded stud mounts, or bolt-on flat mounts. Probes, thermowells and other mounts can be special ordered.

All CY7 sensors follow the temperature response curve shown in standard curve #10. Five bands of tracking accuracy (#1, 2, 3, 4, and 7) are offered to allow sensor selection to be suited to both the technical and economical considerations of any application. Low temperature accuracy ranges from ± 0.25 K for the tightest band (#1) to ± 1.5 K for the loosest (#7).

See accuracy table in "To Order" chart below.

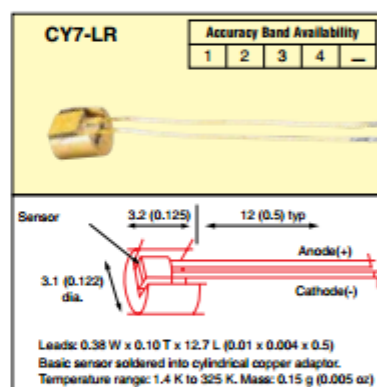
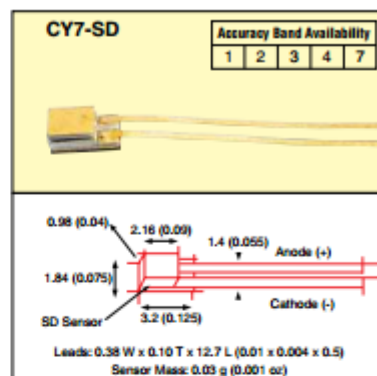
Probe Configuration Type*	Temperature Range	Maximum Installation Temperature Range
-SD	1.4 to 475 K	200°C (392°F)
-ET	1.4 to 325 K	60°C (140°F)
-BO	1.4 to 325 K	60°C (140°F)
-CU	1.4 to 325 K	60°C (140°F)
-LR	1.4 to 325 K	60°C (140°F)
-MT	1.4 to 325 K	60°C (140°F)
-CO	1.4 to 475 K	200°C (392°F)
-CY	1.4 to 325 K	60°C (140°F)

* All of the above are valid for accuracy bands, 1, 2, 3 and 4, except "-CY" which cannot be manufactured with Band 1.

Model CY7-SD7 Economical Sensor

For applications where temperature measurements below 10 K are not required, the CY7-SD7 series offers an inexpensive alternative to the other CY7-SD series temperature sensor. The upper operating temperature is limited to 475 K for the CY7-SD7. Since the package configuration of the CY7-SD7 is identical to the CY7-SD, the installation and operation of the device follow the same procedures as the CY7-SD.

The CY7-SD7 follows Standard Curve #10 (on previous page) to a tolerance of ± 1.5 K or 1.5% of temperature, whichever is greater. Due to possible irregularities and non-monotonic behavior below 10 K, extrapolations or interpolations outside of the operating temperature range should not be attempted.



To Order

Model No.	Band Suffix (Range)	Accuracy (Tolerance)		
		2 to 100 K	100 to 305 K	305 to 475 K
CY7-(*)2	2	± 0.5 K	± 1.0 K	± 2.0 K
CY7-(*)3	3	± 0.5 K	$\pm 1\%$ of T	$\pm 1\%$ of T
CY7-(*)4	4	± 1 K	$\pm 1\%$ of T	$\pm 1\%$ of T
CY7-DI4				
CY7-SD7	7	± 1.5 K	$\pm 1.5\%$ of T	$\pm 1.5\%$ of T

* Insert probe configuration type from chart above.

Ordering Example: CY7-DI4, cryogenic sensor.

OMEGA also offers platinum resistance devices and thermocouples for low temperature sensors. For additional information please contact our Cryogenic Applications Engineers at 1-800-TC-OMEGA.

ANEXO 43: Sensor de oxígeno



- Designed to measure 0 – 100% Oxygen in soil, growth media, air, or in-line tubing (flow-through applications)
- Includes temperature sensor to compensate for temperature changes
- Integrated heater prevents condensation for use in conditions where relative humidity can reach 100%
- Performance proven in the field
- Four year warranty

Apogee Instruments Oxygen Sensors are designed to measure 0 – 100% Oxygen*. This wide measurement range allows them to be used for applications either in the soil or in the lab. An integrated temperature sensor makes compensating for temperature changes straightforward. An integrated heater keeps moisture from condensing on the sensor allowing for use in conditions where relative humidity can reach 100%. The sensor is calibrated to ambient air making it very easy to calibrate. An aluminum housing that is filled with epoxy allows the sensors to withstand harsh conditions.

In applications with high humidity, condensation can occur on the Teflon membrane, blocking the diffusion path of the sensor. To prevent this, a resistive heater is included to raise the temperature of the membrane approximately two degrees above ambient temperature.

*Measurement of oxygen below 1% requires special calibration. Contact Technical Support for more details.



AO-002 Flow through Head



AO-001 Diffusion Head

SPECIFICATIONS

Measurement Range: 0 to 100 % O₂

Sensitivity:

SO-110, 120 – 2.6 mV per % O₂ (approximation)

SO-210, 220 – 0.6 mV per % O₂ (approximation)

Output at 0 % O₂:

SO-110, 120 – 6 % of output at 20.95 % O₂

SO-210, 220 – 3 % of output at 20.95 % O₂

Measurement Repeatability: < 0.1 % of mV output at 20.95 % O₂

Non-linearity: < 1 %

Non-stability (Signal Decrease):

SO-110, 120 – 1 mV per year

SO-210, 220 – 0.8 mV per year

Oxygen Consumption Rate: 2.2 μmol O₂ per day at 20.95 % O₂ and 23 C (galvanic cell sensors consume O₂ in a chemical reaction with the electrolyte, which produces an electrical current)

Response Time:

SO-110, 120 – 60 s (time required to read 90 % of saturated response)

SO-210, 220 – 14 s (time required to read 90 % of saturated response)

Operating Environment: -20 to 60 C

0 to 100 % relative humidity (non-condensing)

60 to 140 kPa

Note: Electrolyte will freeze at temperatures lower than -20 C. This will not damage the sensor, but the sensor must be at a temperature of -20 C or greater in order to make measurements.

Input Voltage Requirement: 12 V DC continuous (for heater); 2.5 V DC excitation (for thermistor, SO-110, 210)

Heater Current Drain: 6.2 mA

Thermistor Current Drain: 0.1 mA DC at 70 C (maximum, assuming input excitation of 2.5 V DC)

Dimensions: 3.2 cm diameter, 6.8 cm length

Diffusion Head (Accessory): 3.5 cm diameter, 3.5 cm length, 125 mesh screen

Flow Through Head (Accessory): 3.2 cm diameter, 9.1 cm length, ¼ inch barbed nylon connectors

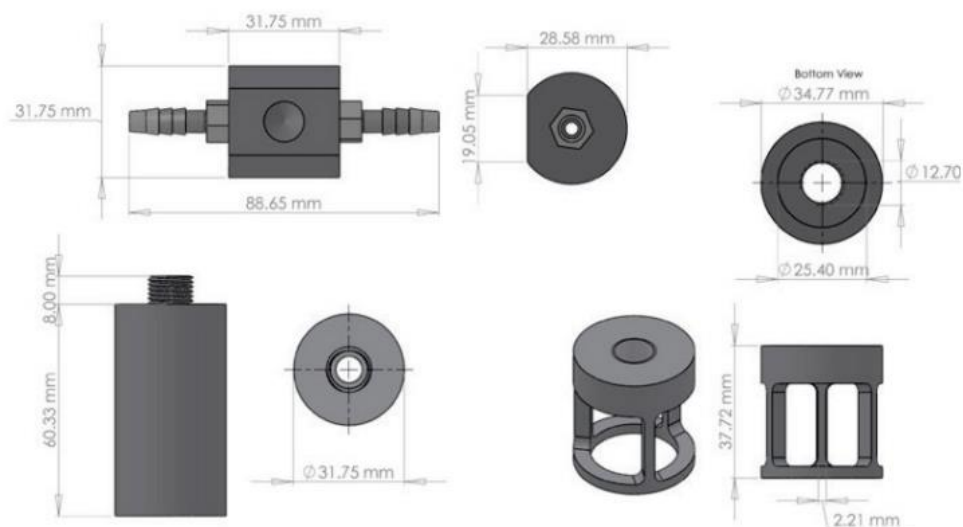
Mass: 175 g (with 5 m of lead wire)

Cable: 5 m of six conductor, shielded, twisted-pair wire, pigtail lead wires

Santoprene rubber jacket (high water resistance, high UV stability, flexibility in cold conditions)

Additional cable available in multiples of 5 m

Influence from Various Gases: Sensors are unaffected by CO, CO₂, NO, NO₂, H₂S, H₂, and CH₄. There is a small effect (approximately 1 %) from NH₃, HCl, and C₆H₆ (benzene). Sensors are sensitive to SO₂ (signal responds to SO₂ in a similar fashion to O₂). Sensors can be damaged by O₃.



ANEXO 44: Metrado de planos para presupuesto

ITEM	NOMBRE	ELEMENTO	REFERENCIA	ANCHO	LARGO	CANT.	PESO UNIT. (Kg)	PESO TOTAL (Kg)
PLANO 2015-01-01				8.81	kg			
1.	ESTRUCTURA PRINCIPAL SUPERIOR							
1.1.	LARGUERO CORTO ITM-01	LIX1X1/8 ASTM A36	2015-01-01		350	4	0.40	1.60
1.2.	LARGUERO LARGO ITM-02	LIX1X1/8 ASTM A36	2015-01-01		570	4	0.67	2.66
1.3.	COLUMNA ITM-03	LIX1X1/8 ASTM A36	2015-01-01		949	4	1.14	4.55
PLANO 2015-01-02				12.79	kg			
2	VARIOS							
2.1	REVESTIMIENTO PL-04	PL 1MM INOX 316	2015-01-02	1000	1489	1	11.66	11.66
2.2	REVESTIMIENTO PL-05	PL 1MM INOX 316	2015-01-02	350	767	1	1.03	1.03
2.3	PLATINA PL-06	PL 3MM ASTM A36	2015-01-02	115	30	1	0.10	0.10
2.4	SOPORTE PL-07	PL 3MM ASTM A36	2015-01-02	299	25	2	0.188	0.38
2.5	ANGULO L-08	LIX1X1/8 ASTM A36	2015-01-02		343	1	0.411	0.41
PLANO 2015-01-03				0.00	kg			
3	ACCESORIOS							
3.1	TUBO PAVCO 1/2"	TB 1/2" PVC-P	PLANO 2015-01-03		500	1		
3.2	CODO 1/2" X 45° PAVCO	PVC-P	PLANO 2015-01-03			2		
3.3	TUBO PAVCO 1/2"	TB 1/2" PVC-P	PLANO 2015-01-03		141	1		
3.4	CODO 3/8" X 45° SOLDABLE	BRONCE FUND.	PLANO 2015-01-03			1		
3.5	CODO 3/8" X 90° ROSCA INT.	BRONCE FUND.	PLANO 2015-01-03			1		
3.6	NIPLE TIPO M 3/8" ROSCADO EN DOS FINALES	TB 3/8" COBRE TIPO M	PLANO 2015-01-03		28	2		
3.7	VÁLVULA BOLA CONEX. HEMBRA 3/8"	BRONCE FUND.	PLANO 2015-01-03			1		
3.8	VÁLVULA SOLENOIDE CONEX. HEMBRA 3/8" ROSCADO	N/A	PLANO 2015-01-03			1		
3.9	NIPLE TIPO M 3/8" ROSCADO EN DOS FINALES	TB 3/8" COBRE TIPO M	PLANO 2015-01-03		50	3		
3.10	ACOPLE FLARE 45° 3/8"	BRONCE FUND.	PLANO 2015-01-03			1		
3.11	VÁLVULA DE ALIVIO ROSCADO EXTERNO CSCRV 3/8" SERIE 500	BRONCE	PLANO 2015-01-03			1		
3.12	NIPLE TIPO M 3/8" ROSCADO EN DOS FINALES	TB 3/8" COBRE TIPO M	PLANO 2015-01-03		127	1		
3.13	TEE 3/8" HUMBOLDT	BRONCE FUND.	PLANO 2015-01-03			2		
3.14	UNIÓN UNIVERSAL 3/8	BRONCE FUND.	PLANO 2015-01-03			2		
3.15	NIPLE TIPO M 3/8" ROSCADO EN UN FINAL	TB 3/8" COBRE TIPO M	PLANO 2015-01-03		50	1		
3.16	NIPLE TIPO M 3/8" S/ROSCA	TB 3/8" COBRE TIPO M	PLANO 2015-01-03		150	1		
PLANO 2015-01-04				4.50	kg			
4	IC PLANO 1/2							
4.1	PLACA SUP. E INF. 1MM ESP.	PL 1MM INOX 316	PLANO 2015-01-04	250	204	2	0.27	0.54
4.2	PLACA LAT. 1MM ESP.	PL 1MM INOX 316	PLANO 2015-01-04	155	216	2	0.19	0.37
4.3	DIFUSOR 1MM ESP.	PL 1MM INOX 316	PLANO 2015-01-04	82	20	2	0.01	0.03
4.4	BRIDA 1MM ESP.	PL 1MM INOX 316	PLANO 2015-01-04	92	117	1	0.045	0.05
4.5	ALETA MEDIA 0.5MM ESP.	PL 0.5MM ALUMINIO	PLANO 2015-01-04	190	154	1	0.036	0.04
4.6	ALETA IZQ. 0.5MM ESO.	PL 0.5MM ALUMINIO	PLANO 2015-01-04	190	154	4	0.036	0.14
4.7	ALETA DER. 0.5MM ESO.	PL 0.5MM ALUMINIO	PLANO 2015-01-04	190	154	4	0.036	0.14
4.8	PLACA SUPERIOR 1MM ESP.	PL 1MM INOX 316	PLANO 2015-01-04	190	52	1	0.382	0.38
4.9	PLACA LATERAL 1MM ESP.	PL 1MM INOX 316	PLANO 2015-01-04	190	154	1	0.214	0.21
4.10	SERPENTIN RECTO 3/8" TIPO M	TB 3/8" COBRE TIPO M	PLANO 2015-01-04		252	19	0.11	2.09
4.11	PLACA DESAGUE 1MM ESP.	PL 1MM INOX 316	PLANO 2015-01-04	95	10	1	0.001	0.00
4.12	PLACA BASE DESAGUE 1MM ESP.	PL 1MM INOX 316	PLANO 2015-01-04	25	25	1	0.001	0.00
4.13	BASE IC. 1MM ESP.	PL 1MM INOX 316	PLANO 2015-01-04	250	190	1	0.013	0.01
4.14	CODO 90° R38 3/8" TIPO M	COBRE	PLANO 2015-01-04			3	0.006	0.02
4.15	CODO 180° R38 3/8" TIPO M	COBRE	PLANO 2015-01-04			19	0.012	0.23
4.16	PLACA LATERAL 1MM ESP.	PL 1MM INOX 316	PLANO 2015-01-04	154	190	1	0.215	0.22
4.17	SERPENTIN RECTO 3/8" TIPO M	TB 3/8" COBRE TIPO M	PLANO 2015-01-04		25	1	0.005	0.01
4.18	SERPENTIN RECTO 3/8" TIPO M	TB 3/8" COBRE TIPO M	PLANO 2015-01-04		109	1	0.023	0.02
PLANO 2015-01-05				0.99	kg			
5	IC PLANO 2/2							
5.1	PLACA LAT. 1MM ESP.	PL 1MM INOX 316	PLANO 2015-01-05	126	155	1	0.08	0.08
5.2	PLACA SUP. 1MM ESP.	PL 1MM INOX 316	PLANO 2015-01-05	250	90	1	0.22	0.22
5.3	CODO 90° 3/8" R38	COBRE	PLANO 2015-01-05			1	0.01	0.01
5.4	TUBO 3/8" TIPO M	TB 3/8" COBRE TIPO M	PLANO 2015-01-05		140	1	0.02	0.02
5.5	BORDE REJILLA 1MM	PL 1MM INOX 316	PLANO 2015-01-05	4	241	1	0.008	0.01
5.6	ELEM. REJILLA 1MM	PL 1MM INOX 316	PLANO 2015-01-05	45	10	8	0.002	0.02
5.7	IND. DUCT. SAL. 1MM	PL 1MM INOX 316	PLANO 2015-01-05	119	75	1	0.08	0.08
5.8	PLACA LAT. 1MM	PL 1MM INOX 316	PLANO 2015-01-05	134	82	2	0.063	0.13
5.9	PPLACA INF. 1MM	PL 1MM INOX 316	PLANO 2015-01-05	126	126	1	0.29	0.29
5.10	PLACA LAT. 1MM ESP.	PL 1MM INOX 316	PLANO 2015-01-05	126	155	1	0.08	0.08
5.11	PLAC. CURV. SUP 1MM	PL 1MM INOX 316	PLANO 2015-01-05	119	75	1	0.07	0.07

PLANO 2015-02-01		8.33 kg				
6	ESTRUCTURA INFERIOR ACERO					
6.1	LARGUERO CORTO	L1X1X1/8 ASTM A36	PLANO 2015-02-01	350	4	0.40
6.2	LARGUERO LARGO	L1X1X1/8 ASTM A36	PLANO 2015-02-01	570	4	0.67
6.3	COLUMNA	L1X1X1/8 ASTM A36	PLANO 2015-02-01	849	4	1.02

PLANO 2015-02-02		7.22 kg				
7	VARIOS					
7.1	REVESTIMIENTO 1MM	PL 1MM INOX 316	PLANO 2015-02-02	1498	900	1
7.2	PLATINA 3MM	PL 3MM ASTM A36	PLANO 2015-02-02	300	100	1
7.3	REDUCCIÓN CUAD.-CIRC. ROLADO 1MM	PL 1MM INOX 316	PLANO 2015-02-02	364	181	1
7.4	DUCTO ROLADO 1MM	PL 1MM INOX 316	PLANO 2015-02-02	601	200	1

43.43

MATERIAL	PESO (KG)	LONGITUD (MM)
L1X1X1/8 ASTM A36	17.555	
PL 1MM INOX 316	21.98	
PL 3MM ASTM A36	1.18	
PL 0.5MM ALUMINIO	0.324	
TB 3/8" COBRE TIPO M		5595
TB 1/2" PVC-P		641
COBRE	N/A	N/A
TOTAL	41.04	

PLANO 2015-03-01		2.79 kg				
8	BARANDILLAS					
8.1	ARCO SUP. 1"	TB 1" ALUMINIO	PLANO 2015-03-01	1224	2	0.30
8.2	SOP. PASANTE 1"	ALUMINIO	PLANO 2015-03-01	N/A	16	0.01
8.3	CODO A PRESIÓN 1"	ALUMINIO	PLANO 2015-03-01	N/A	8	0.02
8.4	TB 1"	TB 1" ALUMINIO	PLANO 2015-03-01	1600	4	0.378
8.5	ARCO SUP. 1"	TB 1" ALUMINIO	PLANO 2015-03-01	792	2	0.195

PLANO 2015-03-02		1.98 kg				
9	VARIOS					
9.1	REVESTIMIENTO CÁMARA	POLIURETANO INYECTADO REV	PLANO 2015-03-02		1	0.00
9.2	REVESTIMIENTO PUERTA	POLIURETANO INYECTADO REV	PLANO 2015-03-02		1	0.00
9.3	PLACA LATERAL 4MM	PL 4MM MADERA MLF	PLANO 2015-03-02	340	1700	1
9.4	BASE CÁMARA 3MM	PL 3MM MADERA MLF	PLANO 2015-03-02	567	742	1
9.5	BASE PUERTA 3MM	PL 3MM MADERA MLF	PLANO 2015-03-02	698	715	1
9.6	BASE CÁMARA 36MM ESP	COLCHONETA RÍG. REV. CUERO	PLANO 2015-03-02			1
9.7	PLACA CÁMARA 1MM	PL1MM INOX 316	PLANO 2015-03-02	1700	1227	1
9.8	REVESTIMIENTO PLACA CON CUERO	CUERO	PLANO 2015-03-02			1
9.9	PLACA DIFUSOR 1MM	PL 1MM ASTM A36	PLANO 2015-03-02	440	200	1
9.10	PLACA PLEGADA 1MM	PL 1MM ASTM A36	PLANO 2015-03-02	100	107	1
9.11	PLACA CÁMARA 1MM	PL 1MM INOX 316	PLANO 2015-03-02	1700	863	1

MATERIAL	PESO	LONGITUD	ÁREA
PL 1MM ASTM A36	0.752		
PL 1MM INOX 316	11.73		
TB 1" ALUMINIO		10432	
PL 4MM MADERA MLF			0.578
PL 3MM MADERA MLF			0.919784

ANEXO 45: Análisis de precios unitarios

ESTRUCTURA DE COSTOS						
PRESUPUESTO:						
OBRA :		MÓDULO 3				
PROYECTO :		CÁMARA CRIOGÉNICA PARA DEPORTISTAS				
CLIENTE :		UCSM				
AREA (m2) :		N/A				
FECHA :		19/08/2015				
REALIZADO POR :		FERNANDO MÁRQUEZ MANRIQUE				
MATERIALES						
ITEM	DESCRIPCION		UND	Metrado	UNIT U\$	PARC. U\$
1	MATERIA PRIMA			24.41		25.63
1.1	Materiales			24.41	% del total	25.63
1.1.1	PL 1MM ASTM A36		KG	0.75	1.00	0.79
1.1.2	PL 1MM INOX 316		KG	11.73	1.00	12.32
1.1.3	TB 1" ALUMINIO		M	10.43	1.00	10.95
1.1.4	PL 4MM MADERA MLF		M2	0.58	1.00	0.61
1.1.5	PL 3MM MADERA MLF		M2	0.92	1.00	0.97
ITEM	DESCRIPCION		UND	Metrado	UNIT U\$	PARC. U\$
2	OTROS MATERIALES					163.48
2.1	Soldadura					3.42
2.1.1	Soldadura 7018X1/8"		Kg	0.49	3.50	1.71
2.1.2	Soldadura 6011X1/8"		Kg	0.49	3.50	1.71
2.2	Pintado					1.80
2.2.1	MACROPOXY 646 (A+B)	3 MILS	Glns.	0.020	37.5	0.75
2.2.2	DILUYENTE P33		Glns.	0.010	15	0.15
2.2.3	MACROPOXY 646 (A+B)	3 MILS	Glns.	0.020	37.5	0.75
2.2.4	DILUYENTE P33		Glns.	0.010	15	0.15
2.3	Otros					158.26
2.3.1	Discos de Desbaste		Unds.	0.08	3.50	0.28
2.3.2	Disco de corte		Unds.	0.08	3.50	0.28
2.3.3	Pernos		Unds.	5.00	1.00	5.00
2.3.4	Oxigeno x 10m3		Bln.	0.02	32.00	0.65
2.3.5	Gas x 45kg		Bln.	0.01	38.00	0.26
2.3.6	SOP. PASANTE 1"	ALUMINIO	Unds.	16.00	1.40	22.40
2.3.7	CODO A PRESIÓN 1"	ALUMINIO	Unds.	8.00	2.14	17.12
2.3.8	REVESTIMIENTO CÁMARA	POLIURETANO INYECTADO	M3	0.28	137.90	40.54
2.3.9	REVESTIMIENTO PUERTA	POLIURETANO INYECTADO	M3	0.15	137.90	21.72
2.3.10	BASE CÁMARA 36MM ESP	COLCHONETA RÍG. REV. CUERO	Unds.	1.00	20.00	20.00
2.3.11	REVESTIMIENTO TOTAL	CUERO	Unds.	1.00	30.00	30.00
TOTAL MATERIALES EN GENERAL					US\$	189.11
INGENIERIA						
Base 8 hrs/día						
ITEM	DESCRIPCION		HH	DIAS	HOMBRES	US\$/Hh
1	Ing Proyectista		8.0	0.500	2.0	24.34
2	Dibujante CAD		1.6	0.200	1.0	8.81
TOTAL INGENIERIA					US\$	208.82
MANO DE OBRA FABRICACION						
Rend.(kg/hh): 1.0						
Base 8 hrs/día hh: 24.4						
ITEM	DESCRIPCION		HH	DIAS	HOMBRES	US\$/Hh
	Supervisor de Planta		0.0	1.000	0	7.55
1	Soldador 3G		0.8	0.100	1	13.40
2	Tornero		0.0	0.000	0	5.88
3	Mecanico (Armador)		4.0	0.500	1	5.67
4	Oficial (Habilitador, Cortador)		4.0	0.500	1	4.78
5	Ayudante		4.0	0.500	1	3.89
6	Pintor		0.0	0.000	0	3.95
Total :			12.8		4	
TOTAL MANO DE OBRA FABRICACION					US\$	68.08

MANO DE OBRA MONTAJE							Rend.(kg/hh): 2.0
Base 10 hrs/día							hh: 12.2
ITEM	DESCRIPCION	HH	DIAS	HOMBRES	US\$/Hh	US \$	
1	Ing. Residente	0.0	0.0	0	6.49	0.00	
2	Ing. Seguridad	0.0	0.0	0	6.19	0.00	
3	Soldador 3G	0.0	0.0	0	5.32	0.00	
4	Tornero	0.0	0.0	0	4.90	0.00	
4	Mecanico (Montajista)	2.0	0.2	1	4.70	9.40	
5	Oficial (Armador)	5.0	0.5	1	4.61	23.05	
6	Ayudante	5.0	0.5	1	3.20	16.00	
7	Pintor	0.0	0.0	0	3.95	0.00	
Total :		12.0		3			
TOTAL MANO DE OBRA MONTAJE						US\$	\$48.45
MAQUINAS, EQUIPOS & HERRAMIENTAS							35.0% 40.8
Base 8 hrs/día							
ITEM	DESCRIPCION	H-Maq	Cantidad	Días	US\$/H-Maq	US \$	
FABRICACION							40.96
1	Cizalla Guillotina	1.6	1	0.200	3.80	6.08	
3	Plegadora	1.6	1	0.200	4.30	6.88	
4	Maquina de soldar 400 A	1.6	1	0.200	2.50	4.00	
6	Roladora	1.6	1	0.200	4.00	6.40	
7	Equipo de oxicorte	0.0	0	0.500	2.25	0.00	
8	Taladro	4.0	1	0.500	4.00	16.00	
13	Herramientas manuales	4.0	1	0.500	0.40	1.60	
Base 10 hrs/día							
MONTAJE							12.58
3	Maquina de soldar 400 A	2.0	1	0.2	3.79	7.58	
4	Taladro manual	0.0	0	0.2	1.75	0.00	
10	Herramientas manuales	5.0	1	0.5	1.00	5.00	
TOTAL MAQUINAS, EQUIPOS & HERRAMIENTAS						US\$	53.54
ENERGIA ELECTRICA (EN PLANTA)							
Base 8 hrs/día							
ITEM	DESCRIPCION	Horas	Días	% Aplicable	US\$/H	US \$	
1	Energía Eléctrica	0.6	1.000	7.0%	0.25	0.14	
TOTAL ENERGIA ELECTRICA						US\$	0.14
MANO DE OBRA INDIRECTA							
Base 8 hrs/día							
ITEM	DESCRIPCION	Horas	Días	% Aplicable	US\$/H	US \$	
1	Mano de Obra Indirecta	8.0	1.00	5.0%	1.01	8.08	
TOTAL MOI						US\$	8.08

TRANSPORTE Y MOVILIZACION DE MATERIALES					
1.- TRANSPORTE DE MATERIALES					\$1.88
ITEM	LOCALIDAD	DESCRIPCION	CANT	US\$/kg	US\$ PARCIAL
1.1	Lima - Arequipa	Transp. de materiales	24.41	0.077	1.88
2.- ALQUILER DE MAQUINARIA					\$2.50
ITEM	ACTIVIDAD	N° MAQ.	N° DIAS	HORAS/DIA	US\$ PARCIAL
	Camion Grua 5 Ton.	0	1.00	2	36.00
2.1	Alquiler Grua de 10 Ton.	0	1.00	5	50.00
2.2	Montacarga	1	0.20	1	25.00
TOTAL TRANSPORTE Y MOVILIZACION DE MATERIALES					US\$ \$4.38

RESUMEN

TOTAL FABRICADO (kg)	24.41
----------------------	-------

ITEM	DESCRIPCION	US\$	Incendencia
TOTAL COSTO DIRECTO		US\$ 363.70	54.62%
1	MATERIALES E INSUMOS	189.11	
2	MANO DE OBRA - FABRICACION	68.08	
3	MANO DE OBRA - MONTAJE	48.45	
4	SERVICIOS ADICIONALES - ARENADO	0.00	
5	PRUEBAS DE SOLDADURAS	0.00	
6	MAQUINAS - EQUIPOS & HERRAMIENTAS	53.68	
7	GASTOS DE TRANSPORTES	4.38	
TOTAL COSTOS INDIRECTOS		US\$ 294.86	45.38%
1	INGENIERIA	208.82	
2	ENERGIA ELECTRICA	0.14	
3	GASTOS DE OBRAS	0.00	
4	PRUEBAS Y COMISIONAMIENTOS	0.00	
5	GASTOS GENERALES	15.0% 85.90	
6	GASTOS FINANCIEROS	2.0% 7.27	
TOTAL COSTO DIRECTO		US\$ 665.83	100.00%
UTILIDAD		10.0% 66.58	
VALOR VENTA DE LA OBRA		US\$ 732.41	30.00

ESTRUCTURA DE COSTOS

PRESUPUESTO:	
OBRA :	MÓDULO 1 Y 2
PROYECTO :	CÁMARA CRIOGÉNICA PARA DEPORTISTAS
CLIENTE :	UCSM
AREA (m2) :	N/A
FECHA :	19/08/2015
REALIZADO POR :	FERNANDO MÁRQUEZ MANRIQUE

MATERIALES							
ITEM	DESCRIPCION		UND	Metrado	UNIT US\$	% Desperd.	PARC. US\$
1	MATERIA PRIMA			46.63			147.63
1.1	Materiales			46.63		% del total	147.63
1.1.1	LIX1X1/8 ASTM A36		KG	17.56	1.00	2.00%	17.91
1.1.2	PL 1MM INOX 316		KG	21.98	5.00	10.00%	120.89
1.1.3	PL 3MM ASTM A36		KG	1.18	1.00	10.00%	1.30
1.1.4	PL 0.5MM ALUMINIO		KG	0.32	2.00	10.00%	0.71
1.1.5	TB 3/8" COBRE TIPO M		M	5.60	1.00	10.00%	6.15
1.1.6	TB 1/2" PVC-P		M	0.64	1.00	5.00%	0.67
ITEM	DESCRIPCION		UND	Metrado	UNIT US\$	% Desperd.	PARC. US\$
2	OTROS MATERIALES						254.46
2.1	Soldadura						6.53
2.1.1	Soldadura 7018X1/8"		Kg	0.93	3.50	0.00%	3.26
2.1.2	Soldadura 6011X1/8"		Kg	0.93	3.50	0.00%	3.26
2.2	Pintado						0.00
2.2.1	AMERLOCK 400	3 MILS	Glns.	0.000	37.5	0.00%	0.00
2.2.2	DISOLVENTE AMERCOAT 65		Glns.	0.000	15	0.00%	0.00
2.2.3	AMERLOCK 400	3 MILS	Glns.	0.000	37.5	0.00%	0.00
2.2.4	DISOLVENTE AMERCOAT 65		Glns.	0.000	15	0.00%	0.00
2.3	Otros						247.93
2.3.1	Discos de Desbaste		Unds.	0.16	3.50	0.00%	0.54
2.3.2	Disco de corte		Unds.	0.16	3.50	0.00%	0.54
2.3.3	Gas x 45kg		Bln.	0.05	38.00	0.00%	1.97
2.3.4	Oxigeno x 10m3		Bln.	0.04	32.00	0.00%	1.24
2.3.5	Pernos		Unds.	5.00	38.00	0.00%	190.00
2.3.6	CODO 1/2" X 45° PAVCO	PVC-P	Unds.	2.0	0.25	0.00%	0.50
2.3.7	CODO 3/8" X 45° SOLDABLE	BRONCE FUND.	Unds.	1.0	3.00	0.00%	3.00
2.3.8	CODO 3/8" X 90° ROSCA INT.	BRONCE FUND.	Unds.	1.0	3.05	0.00%	3.05
2.3.9	ACOPLE FLARE 45° 3/8"	BRONCE FUND.	Unds.	1.0	5.00	0.00%	5.00
2.3.10	TEE 3/8" HUMBOLDT	BRONCE FUND.	Unds.	2.0	1.15	0.00%	2.30
2.3.11	UNIÓN UNIVERSAL 3/8	BRONCE FUND.	Unds.	2.0	1.50	0.00%	3.00
2.3.12	BISAGRA SOLDABLE	BRONCE	Unds.	1.0	1.87	0.00%	1.87
2.3.13	DUCTO SEMI-RIGIDO	ALUMINIO	Unds.	1.0	16.25	0.00%	16.25
2.3.14	AISLAMIENTO	LANA DE VIDRIO	Unds.	1.0	18.66	0.00%	18.66
TOTAL MATERIALES EN GENERAL						US\$	402.09

INGENIERIA						
Base		8 hrs/día				
ITEM	DESCRIPCION	HH	DIAS	HOMBRES	US\$/Hh	US \$
1	Ing Proyectista	8.0	0.500	2.0	24.34	194.72
2	Dibujante CAD	8.0	0.500	2.0	8.81	70.48
TOTAL INGENIERIA						US\$ 265.20

MANO DE OBRA FABRICACION						
Base		8 hrs/día				Rend.(kg/hh): 3.0
ITEM	DESCRIPCION	HH	DIAS	HOMBRES	US\$/Hh	US \$
1	Supervisor de Planta	0.0	0.000	0	7.55	0.00
2	Soldador 3G	4.0	0.500	1	13.40	53.60
3	Tornero	0.0	0.000	0	5.88	0.00
4	Mecanico (Armador)	4.0	0.500	1	5.67	22.68
5	Oficial (Habilitador, Cortador)	4.0	0.500	1	4.78	19.12
6	Ayudante	4.0	0.500	1	3.89	15.56
6	Pintor	0.0	0.000	0	3.95	0.00
Total :		16.0		4		
TOTAL MANO DE OBRA FABRICACION						US\$ 110.96

MANO DE OBRA MONTAJE						
Base			10 hrs/día		Rend.(kg/hh): 4.0	
					hh: 11.7	
ITEM	DESCRIPCION	HH	DIAS	HOMBRES	US\$/Hh	US \$
1	Ing. Residente	0.0	0.0	0	6.49	0.00
2	Ing. Seguridad	0.0	0.0	0	6.19	0.00
3	Soldador 3G	0.0	0.0	0	5.32	0.00
4	Tornero	0.0	0.0	0	4.90	0.00
4	Mecanico (Montajista)	5.0	0.5	1	4.70	23.50
5	Oficial (Armador)	5.0	0.5	1	4.61	23.05
6	Ayudante	0.0	0.5	0	3.20	0.00
7	Pintor	0.0	0.0	0	3.95	0.00
Total :		10.0		2		
TOTAL MANO DE OBRA MONTAJE					US\$	\$46.55

MAQUINAS, EQUIPOS & HERRAMIENTAS						
Base			8 hrs/día		35.0%	
					55.1	
ITEM	DESCRIPCION	H-Maq	Cantidad	Días	US\$/H-Maq	US \$
FABRICACION						56.32
1	Cizalla Guillotina	1.6	1	0.200	3.80	6.08
2	Torno (SN 63 TOS TRENCIN)	0.0	0	4.000	6.50	0.00
3	Plegadora	1.6	1	0.200	4.30	6.88
4	Maquina de soldar 400 A	2.4	2	0.150	2.50	6.00
5	Equipo de Arco sumergido	0.0	0	0.000	4.50	0.00
6	Roladora	4.0	1	0.500	4.00	16.00
7	Equipo de oxicorte	3.2	2	0.200	2.25	7.20
8	Taladro	1.6	1	0.200	4.00	6.40
9	Sierra electrica	0.0	0	0.000	1.75	0.00
10	Esmeril de desbaste	0.0	0	5.000	0.30	0.00
11	Esmeril de Corte	0.0	0	0.000	0.30	0.00
12	Puente Grua	0.4	1	0.050	11.39	4.56
13	Herramientas manuales	8.0	2	0.500	0.40	3.20
Base						8 hrs/día
MONTAJE						21.42
1	Esmeril de desbaste	0.0	0	1.0	0.70	0.00
2	Esmeril de Corte	0.0	0	0.0	0.70	0.00
3	Maquina de soldar 400 A	1.6	1	0.2	3.79	6.06
4	Taladro manual	0.0	0	0.0	1.75	0.00
5	Equipo de pintado	0.0	0	0.0	3.21	0.00
6	Equipo de oxicorte	4.0	1	0.5	2.84	11.36
7	Tecles	0.0	0	0.0	2.21	0.00
8	Andamios (Por 2 cuerpos)	0.0	0	0.0	2.08	0.00
9	Motosoldadora	0.0	0	0.0	22.00	0.00
10	Herramientas manuales	4.0	1	0.5	1.00	4.00
TOTAL MAQUINAS, EQUIPOS & HERRAMIENTAS					US\$	77.74

ENERGÍA ELECTRICA (EN PLANTA)						
Base			8 hrs/día			
ITEM	DESCRIPCION	Horas	Días	% Aplicable	US\$/H	US \$
1	Energía Eléctrica	0.3	0.500	7.0%	0.25	0.07
TOTAL ENERGIA ELECTRICA					US\$	0.07

MANO DE OBRA INDIRECTA						
Base		8 hrs/día				
ITEM	DESCRIPCION	Horas	Días	% Aplicable	US\$/H	US \$
1	Mano de Obra Indirecta	4.0	0.50	5.0%	1.01	4.04
TOTAL MOI					US\$	4.04

TRANSPORTE Y MOVILIZACION DE MATERIALES					
1.- TRANSPORTE DE MATERIALES					\$3.59
ITEM	LOCALIDAD	DESCRIPCION	CANT	US\$/kg	US\$ PARCIAL
1.1	Lima - Arequipa	Transp. de materiales	46.63	0.077	3.59
TOTAL TRANSPORTE Y MOVILIZACION DE MATERIALES					US\$ \$3.59

RESUMEN

TOTAL FABRICADO (kg)	46.63
----------------------	-------

ITEM	DESCRIPCION	US\$	Incendencia
TOTAL COSTO DIRECTO		US\$ 641.01	60.76%
1	MATERIALES E INSUMOS	402.09	
2	MANO DE OBRA - FABRICACION	110.96	
3	MANO DE OBRA - MONTAJE	46.55	
4	SERVICIOS ADICIONALES - ARENADO	0.00	
5	PRUEBAS DE SOLDADURAS	0.00	
6	MAQUINAS - EQUIPOS & HERRAMIENTAS	77.81	
7	GASTOS DE TRANSPORTES	3.59	
TOTAL COSTOS INDIRECTOS		US\$ 401.21	39.24%
1	INGENIERIA	265.20	
2	ENERGIA ELECTRICA	0.07	
3	GASTOS DE OBRAS	0.00	
4	PRUEBAS Y COMISIONAMIENTOS	0.00	
5	GASTOS GENERALES	15.0% 135.94	
6	GASTOS FINANCIEROS	2.0% 12.82	
TOTAL COSTO DIRECTO		US\$ 1055.04	100.00%
UTILIDAD		10.0% 105.50	

VALOR VENTA DE LA OBRA	US\$ 1160.54	24.89
------------------------	--------------	-------

ANEXO 46: Hoja Resumen del presupuesto

 CUADRO DE RESUMEN DE PRECIOS REFERENCIA PLANO 2015-01 Y 2015-02 BASE PARA BOMBA							
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	METRADO PARCIAL	CANTIDAD TOTAL	PRECIO UNITARIO	PRECIO PARCIAL	PRECIO SUB-TOTAL
1.00	MÓDULO 1 Y 2						\$ 2,375.31
1.1	L1X1X1/8 ASTM A36	KG	17.56	1.0	\$ 24.89	\$ 436.88	\$ 2,375.31
1.2	PL 1MM INOX 316	KG	21.98	1.0	\$ 24.89	\$ 547.00	
1.3	PL 3MM ASTM A36	KG	1.18	1.0	\$ 24.89	\$ 29.37	
1.4	PL 0.5MM ALUMINIO	KG	0.32	1.0	\$ 24.89	\$ 8.06	
1.5	TB 3/8" COBRE TIPO M	M	5.60	1.0	\$ 24.89	\$ 139.24	
1.6	TB 1/2" PVC-P	M	0.64	1.0	\$ 24.89	\$ 15.95	
1.7	VÁLVULA BOLA CONEX. HEMBRA 3/8"	Unds.	1.0	1.0	\$ 7.50	\$ 7.50	
1.8	VÁLVULA SOLENOIDE CONEX. HEMBRA 3/8"	Unds.	1.0	1.0	\$ 50.00	\$ 50.00	
1.9	VÁLVULA DE ALIVO ROSCADO EXTERNO	Unds.	1.0	1.0	\$ 130.00	\$ 130.00	
1.10	VENTILADOR CENTRÍFUGO	Unds.	1.0	1.0	\$ 111.32	\$ 111.32	
1.11	MANGUERA CRIOGÉNICA	Unds.	1.0	1.0	\$ 750.00	\$ 750.00	
1.12	VENTILADOR HELICOCENTRÍFUGO	Unds.	1.0	1.0	\$ 150.00	\$ 150.00	
REFERENCIA PLANO 2015-03 TANQUE REFRIGERANTE							
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	METRADO PARCIAL	CANTIDAD TOTAL	PRECIO UNITARIO	PRECIO PARCIAL	PRECIO SUB-TOTAL
2.00	MÓDULO 3: CÁMARA						\$ 732.41
2.1	PL 1MM ASTM A36	KG	0.75	1.00	\$ 30.00	\$ 22.56	\$ 732.41
2.2	PL 1MM INOX 316	KG	11.73	1.00	\$ 30.00	\$ 351.93	
2.3	TB 1" ALUMINIO	M	10.43	1.00	\$ 30.00	\$ 312.99	
2.4	PL 4MM MADERA MLF	M2	0.58	1.00	\$ 30.00	\$ 17.34	
2.5	PL 3MM MADERA MLF	M2	0.92	1.00	\$ 30.00	\$ 27.60	
ACCESORIOS AUTOMATIZACIÓN							
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	METRADO PARCIAL	CANTIDAD TOTAL	PRECIO UNITARIO	PRECIO PARCIAL	PRECIO SUB-TOTAL
3.00	ACCESORIOS AUTOMATIZACIÓN						\$ 1,380.00
3.1	SENSOR DE TEMPERATURA	Unds.	1.0	1.0	\$ 548.00	\$ 548.00	\$ 1,380.00
3.2	SENSOR DE OXIGENO	Unds.	1.0	1.0	\$ 160.00	\$ 160.00	
3.3	PLC	Unds.	1.0	1.0	\$ 224.00	\$ 224.00	
3.4	PANTALLA TÁCTIL	Unds.	1.0	1.0	\$ 348.00	\$ 348.00	
3.5	OTROS	Unds.	1.0	1.0	\$ 100.00	\$ 100.00	
TOTAL SIN I.G.V.							\$ 4,487.73

ANEXO 47: Carta de presupuesto (más impuestos)



CARTA DE PRESUPUESTO PARA PROYECTO DE TESIS

Señores: UCSM

Atención: N/A

Referencia: N/A

TELEFONO: N/A **Email:** N/A

Estimados Señores:

Por la presente les hacemos llegar nuestro presupuesto , por lo siguiente:

PRESUPUESTO N°: 19/08/2015

Fecha: S/N

N° de pedido: Fernando Márquez M.

Elaborado por: Dolares Americanos

Moneda:

Item	Cant.	Descripción	Unid.	Precio Unit.	PARCIAL
1.00	1.00	SERVICIO DE FABRICACIÓN DE UNA CÁMARA CRIOGÉNICA Servicio de suministro de Fabricación de Cámara criogénica <u>Alcances de la Oferta:</u> - El servicio es por Obras de Fabricacion y Obras de Montaje. - No se consideran pruebas a soldaduras - Suministro de mano de Obra calificada para la realizacion de los trabajos. - Suministro de Equipos, maquinas y herramientas. -Se incluye suministro de pernería <u>Nota:</u> - Se adjunta Cuadro de Resumen de Precios	Glb.	\$ 4,487.73	US\$ 4,487.73
Sub-total					\$ 4,487.73
IGV 18.00%					\$ 807.79
TOTAL					\$ 5,295.52

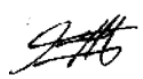
Condiciones Generales:

Forma de pago: Al contado

Plazo de entrega: 4 semanas

Validez de la Oferta: 30 Días

Atentamente,



Ing. Fernando Márquez
fmarquezmanrique@gmail.com

ANEXO 48: Hoja de seguridad: nitrógeno líquido – Air Products



Safetygram #7

Liquid Nitrogen

General

Liquid nitrogen is inert, colorless, odorless, non-corrosive, nonflammable, and extremely cold. Nitrogen makes up the major portion of the atmosphere (78.03% by volume, 75.5% by weight). Nitrogen is inert and will not support combustion; however, it is not life supporting.

Nitrogen is inert except when heated to very high temperatures where it combines with some of the more active metals, such as lithium and magnesium, to form nitrides. It will also combine with oxygen to form oxides of nitrogen and, when combined with hydrogen in the presence of catalysts, will form ammonia.

Since nitrogen is noncorrosive, special materials of construction are not required to prevent corrosion. However, materials of construction must be selected to withstand the low temperature of liquid nitrogen. Vessels and piping should be designed to American Society of Mechanical Engineers (ASME) specifications or the Department of Transportation (DOT) codes for the pressures and temperatures involved.

Although used more commonly in the gaseous state, nitrogen is commonly stored and transported as a liquid, affording a more cost-effective way of providing product supply.

When nitrogen is converted to liquid form it becomes a cryogenic liquid. Cryogenic liquids are liquefied gases that have a normal boiling point below -238°F (-150°C). Liquid nitrogen has a boiling point of -320.5°F (-195.8°C). The temperature difference between the product and the surrounding environment, even in winter, is substantial. Keeping this surrounding heat from the product requires special equipment to store and handle cryogenic liquids.

A typical system consists of the following components: a cryogenic storage tank, one or more vaporizers, a pressure and temperature control system. The cryogenic tank is constructed like, in principle, a vacuum bottle. It is designed to keep heat away from the liquid that is contained in the

inner vessel. Vaporizers convert the liquid nitrogen to its gaseous state. A pressure control manifold controls the pressure at which the gas is fed to the process. Processes that use nitrogen as a liquid do not require the vaporizers and pressure control manifold.

Physical and chemical properties are listed in Table 1.

Manufacture

Nitrogen is produced at air separation plants by liquefaction of atmospheric air and separation of the nitrogen by continuous cryogenic distillation. The nitrogen is then recovered as a cryogenic liquid.

Uses

Nitrogen is the largest volume inorganic chemical sold in the world, supporting a multitude of commercial and technical applications. In its liquid state, nitrogen is used for food freezing, plastic and rubber deflashing and grinding, cooling, metal treating, biological sample preservation, pulverization, and other temperature-related applications.

Health Effects

Being odorless, colorless, tasteless, and nonirritating, nitrogen has no warning properties. Humans possess no senses that can detect the presence of nitrogen. Although nitrogen is nontoxic and inert, it can act as a simple asphyxiant by displacing the oxygen in air to levels below that required to support life. Inhalation of nitrogen in excessive amounts can cause dizziness, nausea, vomiting, loss of consciousness, and death. Death may result from errors in judgment, confusion, or loss of consciousness that prevents self-rescue. At low oxygen concentrations, unconsciousness and death may occur in seconds and without warning.

Personnel, including rescue workers, should not enter areas where the oxygen concentration is below 19.5%, unless provided with a self-contained breathing apparatus or air-line respirator.

For more information on oxygen-deficient atmospheres, consult Air Products' Safetygram #17, "Dangers of Oxygen-Deficient Atmospheres."

Extensive tissue damage or burns can result from exposure to liquid nitrogen or cold nitrogen vapors.

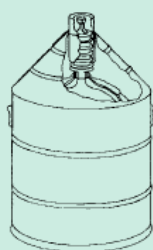
Containers

Liquid nitrogen is stored, shipped and handled in several types of containers, depending upon the quantity required by the user. The types of containers in use are the dewar, cryogenic liquid cylinder, and cryogenic storage tank. Storage quantities vary from a few liters to many thousands of gallons. Since heat leak is always present, vaporization takes place continuously. Rates of vaporization vary, depending on the design of the container and the volume of stored product.

Containers are designed and manufactured according to the applicable codes and specifications for the temperatures and pressures involved.

Figure 1

A Typical Dewar



Dewars

Figure 1 illustrates a typical, vacuum-jacketed dewar. A loose fitting dust cap over the outlet of the neck tubes prevents atmospheric moisture from plugging the neck and allows gas produced from vaporized liquid to escape. This type of container is a nonpressurized container. The unit of measure for the capacity of a dewar is typically the liter. Five to 200 liter dewars are available. Product may be removed from small dewars by pouring, while larger sizes will require a transfer tube. Cryogenic liquid cylinders that are pressurized vessels are sometimes incorrectly referred to as dewars.

Cryogenic Liquid Cylinders

Figure 2 shows a typical cryogenic liquid cylinder. Cryogenic liquid cylinders are insulated, vacuum-jacketed pressure vessels. They come equipped with safety relief valves and rupture discs to

Table 1

Liquid Nitrogen Physical and Chemical Properties

Chemical Formula	N ₂
Molecular Weight	28.01
Boiling Point @ 1 atm	-320.5°F (-195.8°C)
Freezing Point @ 1 atm	-346.0°F (-210.0°C)
Critical Temperature	-232.5°F (-146.9°C)
Critical Pressure	492.3 psia (33.5 atm)
Density, Liquid @ BP, 1 atm	50.45 lb/scf
Density, Gas @ 68°F (20°C), 1 atm	0.0725 lb/scf
Specific Gravity, Gas (air=1) @ 68°F (20°C), 1 atm	0.967
Specific Gravity, Liquid (water=1) @ 68°F (20°C), 1 atm	0.808
Specific Volume @ 68°F (20°C), 1 atm	13.80 scf/lb
Latent Heat of Vaporization	2,399 Btu/lb mole
Expansion Ratio, Liquid to Gas, BP to 68°F (20°C)	1 to 694

protect the cylinders from pressure buildup. These containers operate at pressures up to 350 psig and have capacities between 80 and 450 liters of liquid.

Product may be withdrawn as a gas by passing liquid through an internal vaporizer or as a liquid under its own vapor pressure. For more details on the construction and operation of cryogenic liquid cylinders, consult Air Products' Safetygram #27, "Cryogenic Liquid Containers."

Cryogenic Storage Tanks

A typical customer installation (see Figure 3) includes a tank, a vaporizer, and a pressure control manifold. Tanks may be spherical or cylindrical in shape. They are mounted in fixed locations as stationary vessels or on railroad car or truck chassis for easy transportation. Sizes range from 500 to 420,000 gallons and all tanks are powder- and vacuum-insulated in the annular space. Tanks are equipped with various circuits to control product fill, pressure buildup, pressure relief, product withdrawal, and tank vacuum. Tanks are designed to ASME specifications for the pressures and temperatures involved.

Transfer Lines

A liquid transfer line is used to safely remove liquid product from dewars or cryogenic liquid cylinders. A typical transfer line for dewars is connected to a bayonet that provides a means of using product vapor pressure buildup or an external pressure source to remove the liquid. For cryogenic liquid cylinders, the transfer line is connected to the cylinder's liquid withdrawal valve.

Figure 2a

Typical Cryogenic Liquid Cylinder, side view

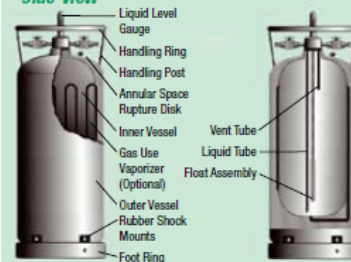
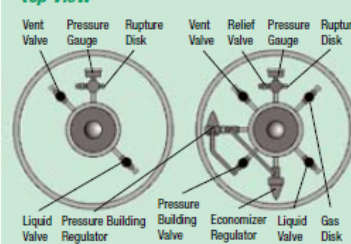


Figure 2b

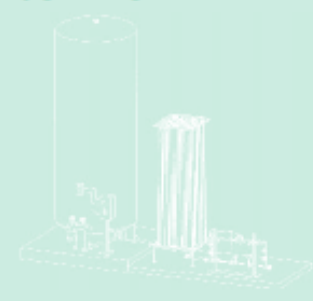
Typical Cryogenic Liquid Cylinder, top view



Liquid product is typically removed through insulated withdrawal lines to minimize the loss of liquid product to gas. Insulated flexible or rigid lines are used to withdraw product from storage tanks. Connections on the lines and tanks vary by manufacturer.

Figure 3

A Typical Customer Station with a Cryogenic Storage Tank



NOTE: Liquid cylinders designed to dispense gaseous nitrogen have valves equipped with standard Compressed Gas Association (CGA) outlets. Suitable pressure regulating equipment may be attached. Valves provided for the withdrawal of liquid product are also equipped with standard CGA outlets, but are different than the connections used for gaseous withdrawal. This is to prevent cross connections between processes using liquid or gaseous product.

Shipment of Liquid Nitrogen

Containers used for transporting liquid nitrogen at less than 25 psig (40 psia) pressure are UN/DOT authorized containers. These are containers built to other than DOT specifications but are authorized by the DOT for use in the transport of approved products. Containers used for transporting liquid nitrogen at pressures greater than 25 psig (40 psia) need to be designed, manufactured, and tested to DOT specifications.

For air shipments, all packages must be in compliance with International Air Transport Association/International Civil Air Organization (IATA/ICAO) Dangerous Goods Regulations, as well as DOT regulations.

DOT Hazard Class: 2.2

DOT Shipping Label: Nonflammable Gas (Fig. 4) except none for cargo tanks under 23 psig

Identification Number: UN1977

DOT Shipping Name: Nitrogen, Refrigerated Liquid, 2.2, UN1977

Safety Considerations

The hazards associated with liquid nitrogen are exposure to cold temperatures, which can cause severe burns; overpressurization due to expansion of small amounts of liquid into large volumes of gas in inadequately vented equipment; and asphyxiation due to displacement of oxygen in the air in confined work areas.

Figure 4

Nonflammable Gas Shipping Label



If oxygen-deficient atmospheres are suspected or can occur, use oxygen monitoring equipment to test for oxygen-deficient atmospheres. Review the liquid nitrogen Material Safety Data Sheet (MSDS).

Buildings

Because of the large expansion ratio of liquid to gas, it is very important to provide adequate ventilation in areas using liquid nitrogen. A minimum of six air changes per hour are suggested in these areas.

Provide monitoring for areas where oxygen displacement may occur.

OSHA has established 19.5% oxygen concentration as the minimum for working without supplied air.

Remember, nitrogen has no warning properties!

Storage and Handling

Store and use liquid containers with adequate ventilation. Do not store containers in a confined area or in area unprotected from the extremes of weather. Cryogenic containers are equipped with pressure relief devices designed to control the internal pressure. Under normal conditions these containers will periodically vent product. Do not plug, remove or tamper with any pressure relief device.

Cryogenic containers must be stored, handled and transported in the upright position. When moving never tip, slide or roll containers on their side. Use a suitable hand truck for moving smaller containers. Move larger containers by pushing, not pulling. Avoid mechanical and thermal shock. Never allow any unprotected part of the body to come in contact with uninsulated pipes or equipment containing cryogenic product. The extreme cold will cause flesh to stick fast and potentially tear on withdrawal.

If there is any difficulty in operating the container valve or container connections discontinue use and contact the vendor. Do not remove or interchange connections. Use only the properly assigned connections. **Do not use adaptors.**

Use only transfer lines and equipment designed for use with cryogenic liquids. Some elastomers and metals, such as carbon steel, may become brittle at extremely low temperatures and may easily fracture. These materials must be avoided in cryogenic service.

On gas withdrawal systems use check valves or other protective apparatus to prevent reverse flow into the container. On liquid systems pressure relief devices must be used in lines where there is the potential to trap liquid between valves. It is recommended that all vents be piped to the exterior of the building.

Liquid containers should not be left open to the atmosphere for extended periods. Keep all valves closed and outlet caps in place when not in use. If restriction results from freezing moisture or foreign material present in openings and vents contact the vendor for instructions. Restrictions and blockages may result in dangerous over-pressurization. Do not attempt to remove the restriction without proper instructions. If possible move the cylinder to a remote location.

For additional information on the storage and handling of cryogenic liquids refer to Air Products' Safetygram-16, "Safe Handling of Cryogenic Liquids", and CGA Pamphlet P-12, "The Safe Handling of Cryogenic Liquids".

Personal Protective Equipment (PPE)

Personnel must be thoroughly familiar with properties and safety considerations before being allowed to handle liquid nitrogen and/or its associated equipment.

Eyes are most sensitive to the extreme cold of liquid nitrogen and its vapors. The recommended personal protective equipment when handling or using liquid nitrogen is a full faceshield over safety glasses; loose-fitting thermal insulated or leather gloves; and long-sleeved shirts and pants without cuffs, especially whenever the possibility of exposure or a spill exists. In addition, safety shoes are recommended for those involved with the handling of liquid nitrogen containers.

In emergency situations, self-contained breathing apparatus (SCBA) must be used.

First Aid

People suffering from lack of oxygen should be moved to fresh air. If the victim is not breathing, administer artificial respiration. If breathing is difficult, administer oxygen. Obtain immediate medical attention.

ANEXO 49: Datasheet de MIGFIL 2010Mo

GMAW
Acero Inoxidable
SOLDEXA
MIGFIL 2010Mo
(Antes ECGAFIL 2010Mo)

Los cordones de soldadura depositados con MIGFIL 2010 Mo tienen alta resistencia a la corrosión, y su bajo contenido de carbono reduce la posibilidad de formación de carburos de cromo y corrosión intergranular a temperaturas de 350°C.

Clasificación

AWS A5.9 / ASME SFA-5.9	ER316L
-------------------------	--------

Análisis Químico de Metal Depositado (valores típicos*) [%]

C	Mn	Si	P	S	Mo	Ni	Cr	Cu	Otros
0,02	1,40	0,45	máx. 0,025	máx. 0,020	2,6	12,5	19,0	-	-

Propiedades Mecánicas del Metal Depositado

Tratamiento Térmico	Resistencia a la Tracción [MPa (psi)]	Límite de Fluencia [MPa (psi)]	Elongación en 2" [%]	Energía Absorbida ISO-V (20°C) [J]
Sin tratamiento	> 510 (73 950)	> 350 (50 750)	> 30	47

Conservación del Producto

- Mantener en un lugar seco y evitar humedad.
- No requiere almacenamiento bajo horno.

Posiciones de Soldadura

P, H, Va, Sc.



Parámetros de Soldeo Recomendados

Diámetro [mm (pulg.)]	0,80 (0,030)		1,00 (0,040)	
Polaridad	Corriente continua electrodo al positivo (DCEP)			
Gas protector	98% Ar + 2% CO ₂			
Posición de soldadura	Amp. [A]	Volt. [V]	Amp. [A]	Volt. [V]
Plana, Filete Horizontal	105 - 160	20 - 23	80 - 210	20 - 25
Horizontal	75 - 105	19 - 20	120 - 180	18 - 23
Vertical Ascendente	85 - 125	17 - 21	130 - 180	19 - 22
Sobrecabeza	90 - 150	18 - 19	125 - 190	18 - 21

Aplicaciones

- El MIGFIL 2010 Mo se emplea para soldar aceros con alta resistencia a la corrosión excepto cuando hay presencia de sales o ácidos sulfurosos.
- Unión de aceros AISI 316 – 316 L, X4CrNiMo 17-12-2, X6CrNiMoTi 17-12-2.
- Unión de aceros 18% Cr – 8% Ni tales como AISI 308 – 308 L.

ANEXO 50: Datasheet de INOX CW

SMAW

Acero Inoxidable



INOX CW

Electrodo rutílico cuyo depósito es 100% austenítico. Los altos contenidos de Cr/Ni (25%/20%) le permiten obtener depósitos de alta resistencia al calor hasta 1200°C, con excelente resistencia a la fricción, impacto, corrosión y oxidación. Excelentes características de soldeo: arco estable, poco chisporroteo y salpicaduras, emplea muy bajos amperajes. Posee alta resistencia mecánica y es fácilmente maquinable.

Clasificación	
AWS A5.4 / ASME-SFA 5.4	E310-16

Análisis Químico del Metal Depositado (valores típicos) [%]

C	Mn	Si	P	S	Mo	Ni	Cr	Cu	Otros
0,10	2,50	0,50	máx. 0,025	máx. 0,020	-	20,00	25,0	-	-

Propiedades Mecánicas del Metal Depositado

Tratamiento Térmico	Resistencia a la Tracción [MPa (psi)]	Límite de Fluencia [MPa (psi)]	Elongación en 2" [%]	Energía Absorbida ISO-V (+20°C) [J]
Sin tratamiento	550 - 640 (79 700 - 92 800)	> 350 (50 750)	> 30	> 60

Conservación del Producto
- Mantener en un lugar seco y evitar humedad. - Almacenamiento bajo horno: 50°C. - Resecado de 300°C a 350°C por 2 horas.

Posiciones de Soldadura
P, H, Va, Sc. 

Parámetros de Solder Recomendados

Para corriente alterna(AC) o continua (DC): Electrodo al polo positivo DCEP								
Diámetro	[mm]	1,60	2,00	2,50	3,25	4,00	5,00	6,30
	[pulgadas]	1/16	5/64	3/32	1/8	5/32	3/16	1/4
Amperaje mínimo	-	40	60	90	100	140	-	-
Amperaje máximo	-	60	90	120	150	170	-	-

Aplicaciones

- Para soldar aceros AISI 310, X22 CrNi 25 20, Wt 1.4842, etc.
- Para fabricar o reparar intercambiadores de calor, quemadores, tuberías, ejes, válvulas, bombas, estampas, cuchillas, matrices, etc.
- Para recubrir aceros refractarios en general, que van a trabajar a temperaturas hasta de 1200°C.
- Para reparar componentes de hornos: ganchos, canastillas, guías, bastidores y cadenas
- Para reparación de matrices y tornillos extrusores.
- Como base de recubrimientos protectores especiales como Stellite, Hastelloy u otros.
- En la fabricación y reparación de equipos para la industria minera, petroquímica, textil, alimenticia, ferroviaria, fundiciones, cementeras, acerías, etc.

ANEXO 51: Datasheet de RODFIL 204

OFW
Cobre y aleaciones
SOLDEXA
RODFIL Serie 200

(Antes EXSALOT Serie 200)

Los productos RODFIL Serie 200, son aleaciones de Cobre en Varillas para soldar con el proceso de soldadura oxigas (BRAZING).

Análisis Químico de Metal Depositado (valores típicos) [%]

PRODUCTO	AWS A5.8 Clasificación	Ag	Zn	Si	Cd	Sn	P	Ni	Cu
RODFIL 203B	BCu P-3	5	-	-	-	-	6	-	Resto
RODFIL 204	BCu P-2	-	-	-	-	-	7,2	-	Resto
RODFIL 210 RODFIL 210R	RBCuZn-A	-	Resto	0,10 0,50	-	< 0,50	-	-	58,0 61,0
RODFIL 700R	RBCuZn-D	-	41,0	0,20	-	-	-	11,0	46 - 50

(*) Donde: R = Varilla revestida con fundente (Longitud = 500 mm.)

Propiedades Mecánicas del Metal Depositado

PRODUCTO	Resistencia a la Tracción (N/mm ²)	Elongación (l=5d) %	Dureza (HB)	Temp. Trabajo (°C)	Intervalo fusión (°C)	Conductividad eléctrica [Sm/mm ²]
RODFIL 203B	250	8	*	813	643 - 813	5
RODFIL 204	250	5	*	710	710 - 740	2,5
RODFIL 210 RODFIL 210R	350	35	110 HB	900	890 - 900	15
RODFIL 700R	*	*	180 HB 220 HB	910	890 - 920	*

Características, Aplicaciones y Presentación

PRODUCTO	Características y Aplicaciones	Presentación
RODFIL 203B	Son aleaciones especialmente desarrolladas para unir cobre con cobre, cobre con latón, cobre con bronce y latón con latón. Sus principales aplicaciones están en las industrias de la refrigeración y el aire acondicionado.	Varilla plana: 1,27mm x 3,25mm
RODFIL 204	Aleación económica de cobre fósforo para soldadura oxigas y TIG, auto fundente sobre cobre. No contiene Ag. Para uniones que trabajan hasta 200°C. Presenta buena fluidez y capilaridad.	Varilla: 2,50 / 3,25 mm.
RODFIL 210 RODFIL 210R	Varilla de bronce especial para unión y recargue por proceso de soldadura oxigas de aplicación universal. Presenta buena fluidez y es insensible al sobrecalentamiento.	Varilla: 2,50 / 3,25 / 4,0 mm. V. Revestida: 2,50 / 3,25 / 4,0 mm.
RODFIL 700R	Varilla patentada de bronce al níquel para unión y recargue sobre bronce, aceros y hierros fundidos. Resistente al desgaste fricción metal-metal y agua de mar. Su depósito es tenaz y maquinable.	V. Revestida: 3,25 / 4,0 mm.

Fuente de Calor:

Soplete oxiacetilénico (llama ligeramente oxidante).

Fundente utilizado en el proceso oxiacetilénico:

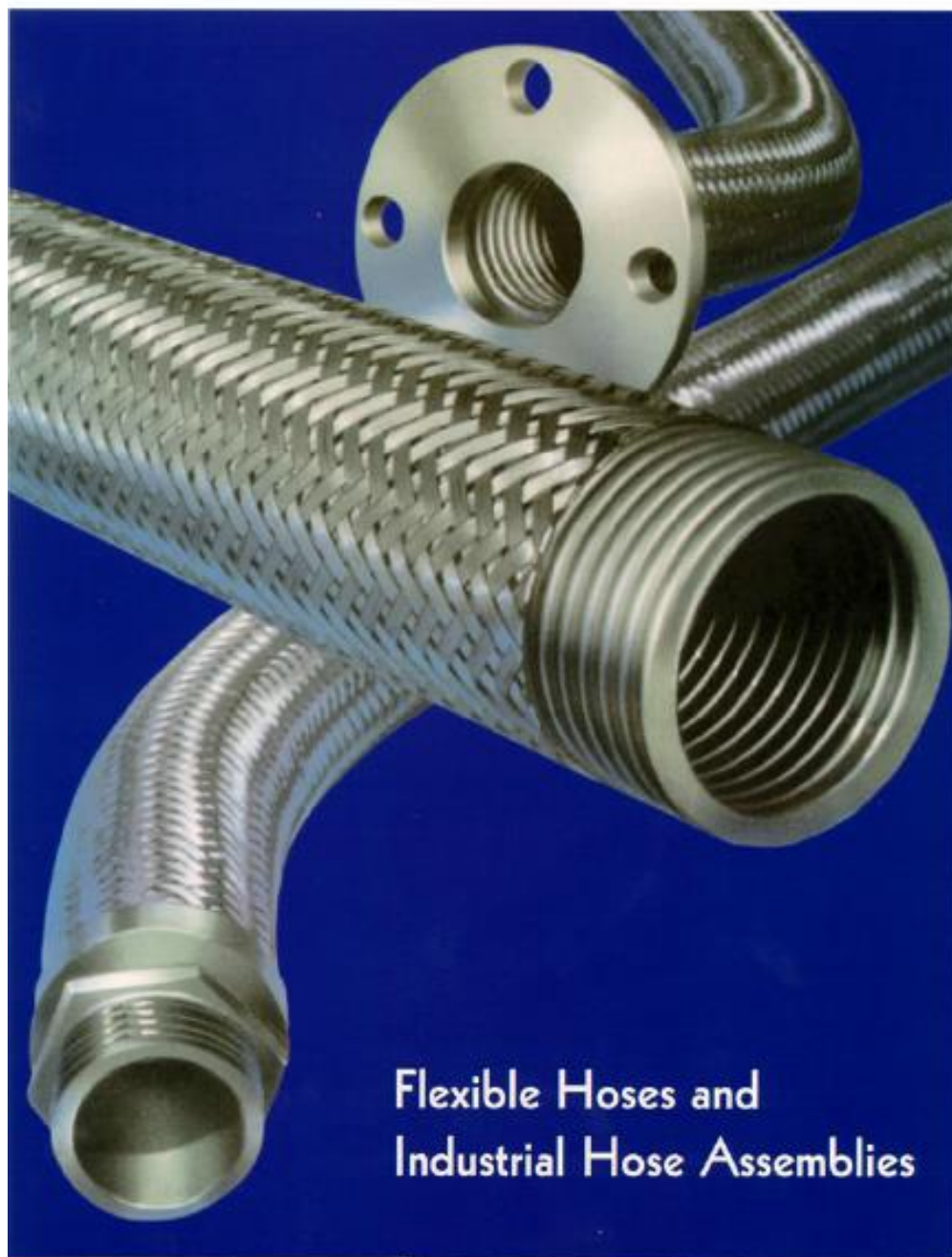
FLUX 200

ANEXO 52: Datasheet de manguera criogénica

Assemblies

AEROFLEX hose assemblies are engineered to perfection in flexibility, strength and reliability. Aeroflex industries can provide a corrugated stainless steel hose assembly that will meet your most demanding technical specification. We can supply the hose complete with

all types of end connections in various types of materials. The end connections are tig welded to hose. HOSE ASSEMBLIES CAN BE SUPPLIED UNDER ANY THIRD PARTY INSPECTION.





Modes of Movements Static Installations

Where the flexible hose is used to connect mis-aligned pipes and remain in static position.

Occasional Flexing

Where the hose is required to flex occasionally, such as manually operated equipment.

Constant Flexing

When the hose is required to flex continuously, usually in moving machinery.

Vibration

High frequency, low amplitude movement e.g. On a compressor.

TABLE - I TECHNICAL DATA

NOMINAL BORE	MINIMUM BEND RADIUS		WITHOUT BRAID		SINGLE BRAID		DOUBLE BRAID	
	STATIC	FLEXING	MAX. working pressure kg/cm ²	TEST pressure kg/cm ²	MAX. working Pressure kg/cm ²	TEST pressure kg/cm ²	MAX. working kg/cm ²	TEST pressure kg/cm ²
N.B.	mm	mm						
6	25	100	4	6	100	150	160	240
10	40	150	4	6	90	135	144	216
12	50	200	3	4.5	80	120	128	192
16	60	200	3	4.5	70	105	112	168
20	70	200	2	3	64	96	102	153
25	90	200	2	3	50	75	80	120
32	110	250	1.5	2.3	40	60	64	96
40	130	250	1.5	2.3	30	45	48	72
50	175	350	1.0	1.5	28	42	44	66
63	200	410	1.0	1.5	24	36	38	57
80	205	450	1.0	1.5	18	27	28	42
100	230	560	0.8	1.2	16	24	26	39
125	280	680	0.6	0.9	12	18	20	30
150	320	815	0.6	0.9	10	15	16	24
200	435	1015	0.5	0.75	8	12	12	18

TABLE - II TECHNICAL DATA

NOMINAL BORE	MINIMUM BEND RADIUS		WITHOUT BRAID		SINGLE BRAID		DOUBLE BRAID	
	STATIC	FLEXING	MAX. working pressure kg/cm ²	TEST pressure kg/cm ²	MAX. working Pressure kg/cm ²	TEST pressure kg/cm ²		
N.B.	mm	mm						
250	635	1270	0.2	0.3	16.5	24.75	BRAIDED BRAID	BRAIDED BRAID
300	762	1524	0.15	0.22	11	16.5	BRAIDED BRAID	BRAIDED BRAID
350	889	1778	0.13	0.195	8	12	BRAIDED BRAID	BRAIDED BRAID

*The above values are applicable for Aeroflex Braided Hoses & Assemblies *The above pressure ratings are for fluid and ambient temperature of 20°C. For higher temperatures apply correction factors as per Table III. *The burst pressure is 4 times the maximum working pressure *The above technical data is subject to change on account of design improvement.

Temperature Correction Factor

When hoses are required to work at higher temperatures, the working pressure given in Table 1 should be multiplied by the correction factor. This will determine the pressure rating of the hoses for higher temperatures.

Example

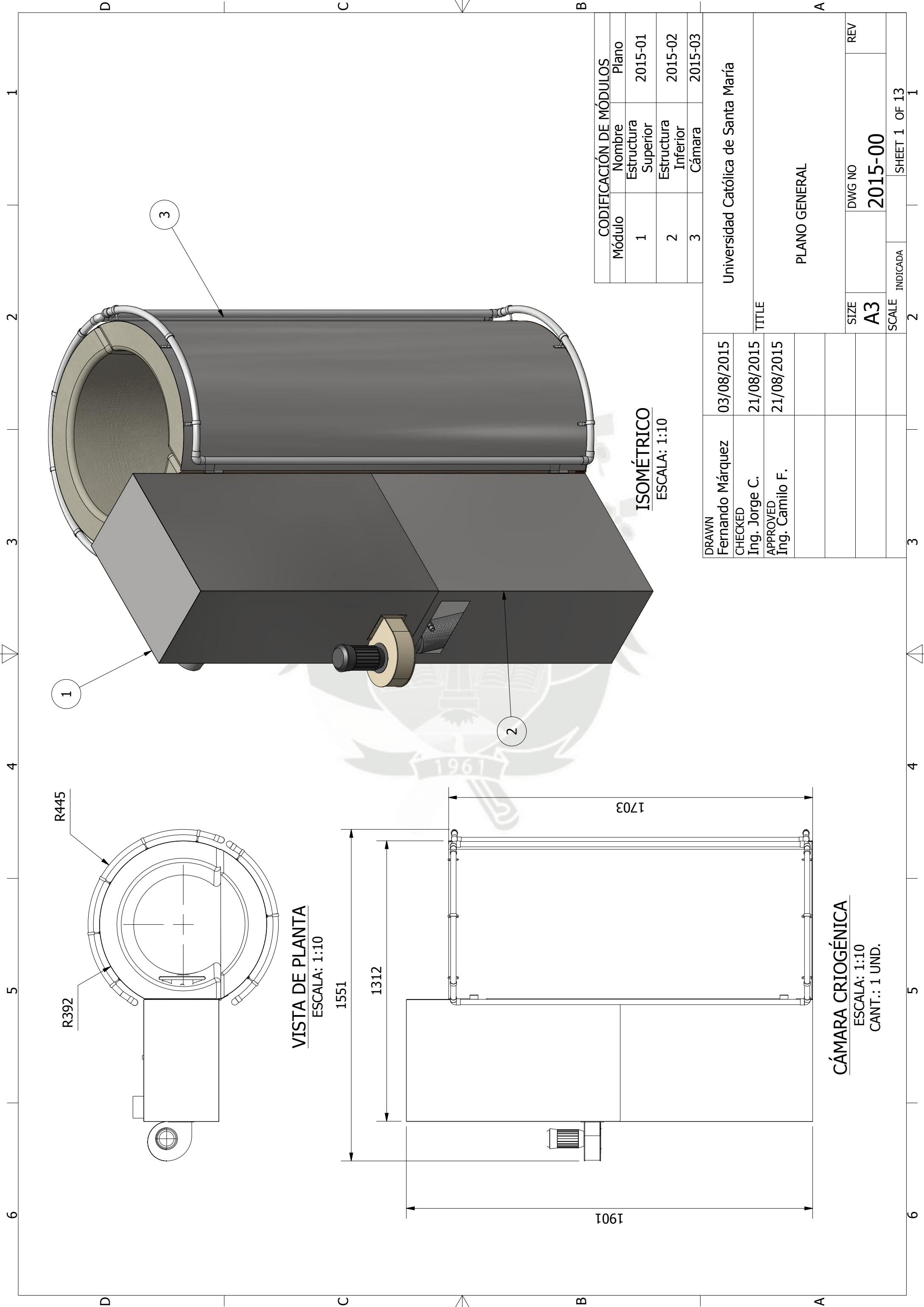
A 50 NB hose is required for a temperature of 200°C and working pressure of 19 kg/cm². The specified pressure for 50 NB single wire braid hose as per table is 28 kg/cm². The correction factor at 200°C is 0.69. Hence the working pressure permissible is 28 x 0.69 = 19.32 kg/cm². This is higher than the required pressure i.e. 19 kg/cm². Hence single braided hose is recommended.

TABLE III

Temp (°C)	-200	-150	-100	-50	0	20	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700
Corr. Factor	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.92	0.83	0.75	0.69	0.65	0.61	0.58	0.56	0.54	0.53	0.52	0.34	0.19	0.10

PLANOS



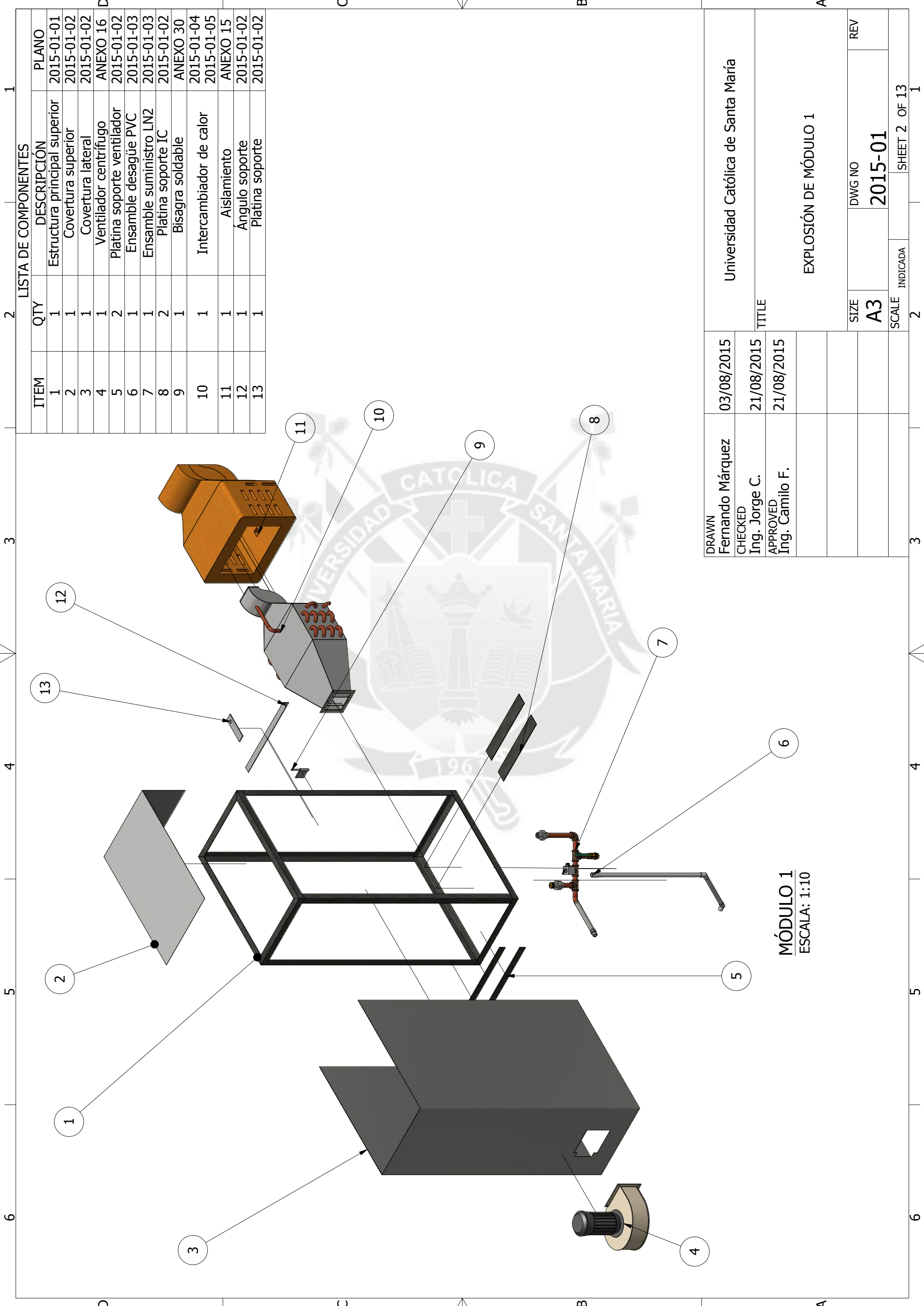


CODIFICACIÓN DE MÓDULOS		
Módulo	Nombre	Plano
1	Estructura Superior	2015-01
2	Estructura Inferior	2015-02
3	Cámara	2015-03

DRAWN Fernando Márquez	03/08/2015	Universidad Católica de Santa María		
	CHECKED Ing. Jorge C.	21/08/2015	TITLE	
	APPROVED Ing. Camilo F.	21/08/2015	PLANO GENERAL	
			SIZE A3	DWG NO 2015-00
			SCALE	INDICADA
			2	SHEET 1 OF 13

CÁMARA CRIOGENICA

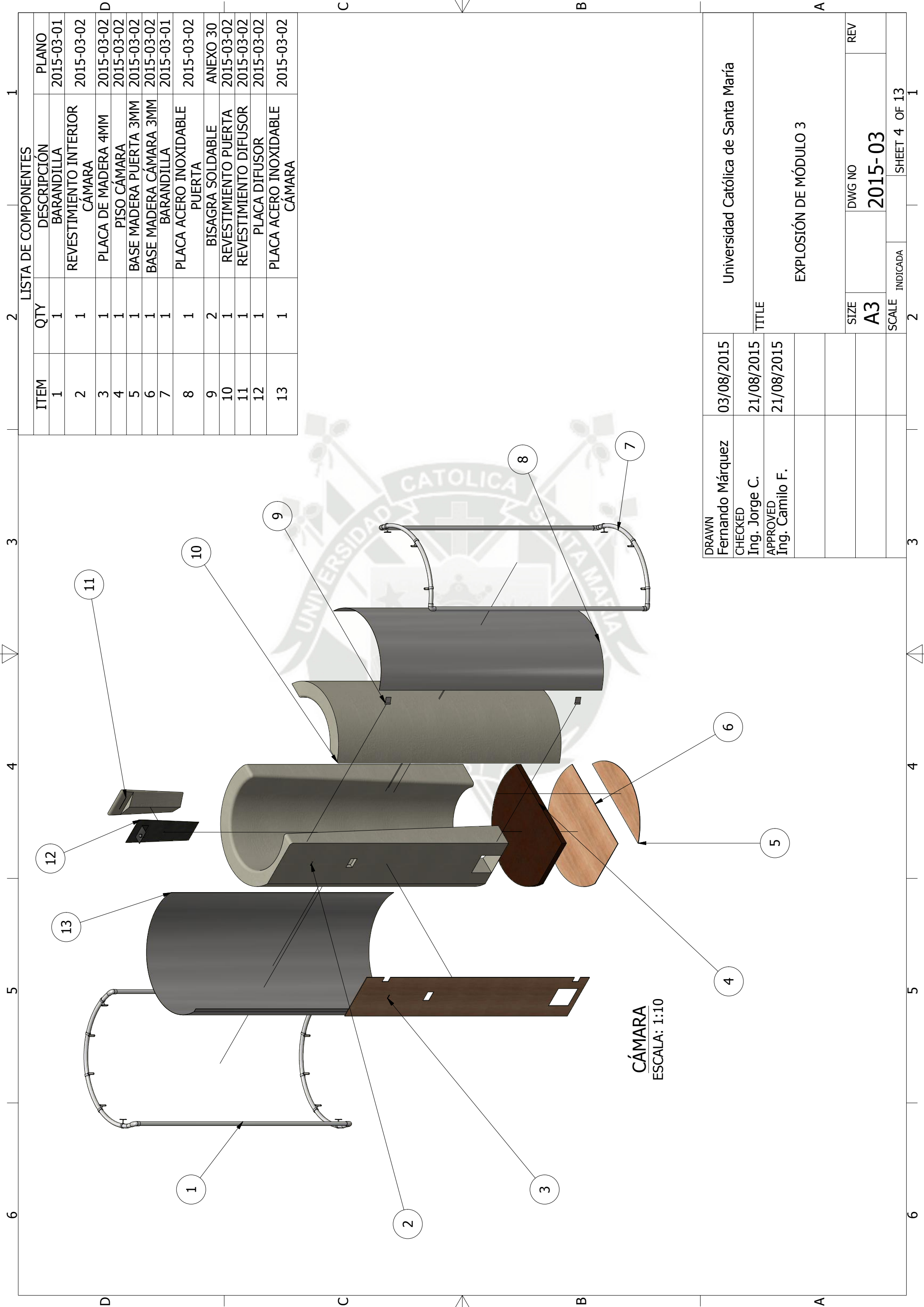
ESCALA: 1:10
CANT.: 1 UND.



LISTA DE COMPONENTES			
ITEM	QTY	DESCRIPCIÓN	PLANO
1	1	Estructura principal superior	2015-01-01
2	1	Covertura superior	2015-01-02
3	1	Covertura lateral	2015-01-02
4	1	Ventilador centrífugo	ANEXO 16
5	2	Platina soporte ventilador	2015-01-02
6	1	Ensamble desagüe PVC	2015-01-03
7	1	Ensamble suministro LN2	2015-01-03
8	2	Platina soporte IC	2015-01-02
9	1	Bisagra soldable	ANEXO 30
10	1	Intercambiador de calor	2015-01-04
11	1	Aislamiento	ANEXO 15
12	1	Ángulo soporte	2015-01-02
13	1	Platina soporte	2015-01-02

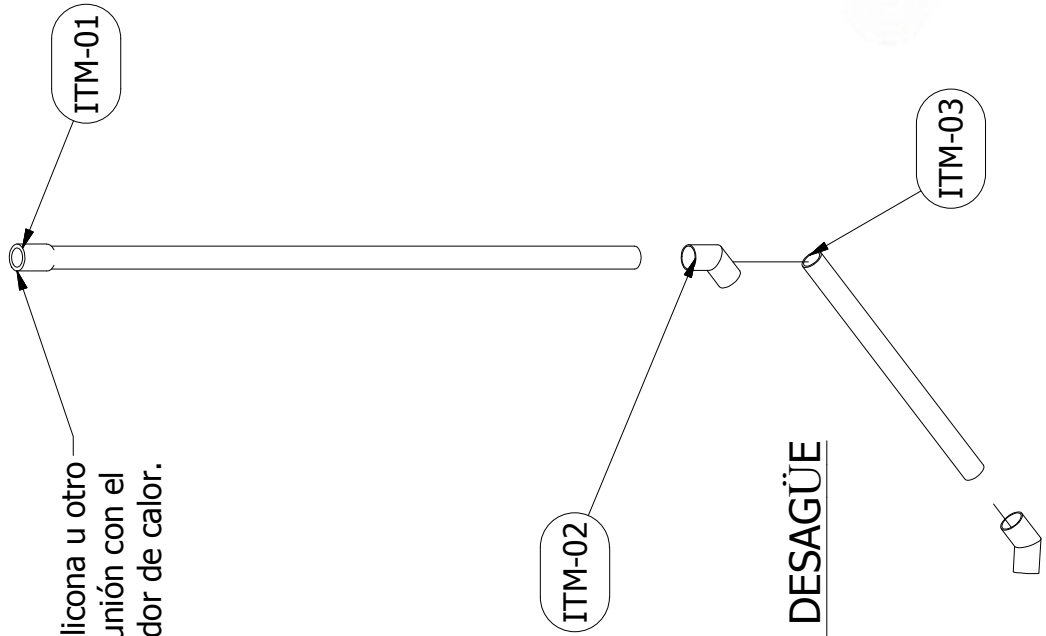
DRAWN	03/08/2015	Universidad Católica de Santa María	
CHECKED	21/08/2015	TITLE	
Ing. Jorge C.	21/08/2015		
APPROVED	21/08/2015	EXPLOSIÓN DE MÓDULO 1	
Ing. Camilo F.			
		SIZE	DWG NO
		A3	2015-01
		SCALE	INDICADA
		2	SHEET 2 OF 13

MÓDULO 1
ESCALA: 1:10



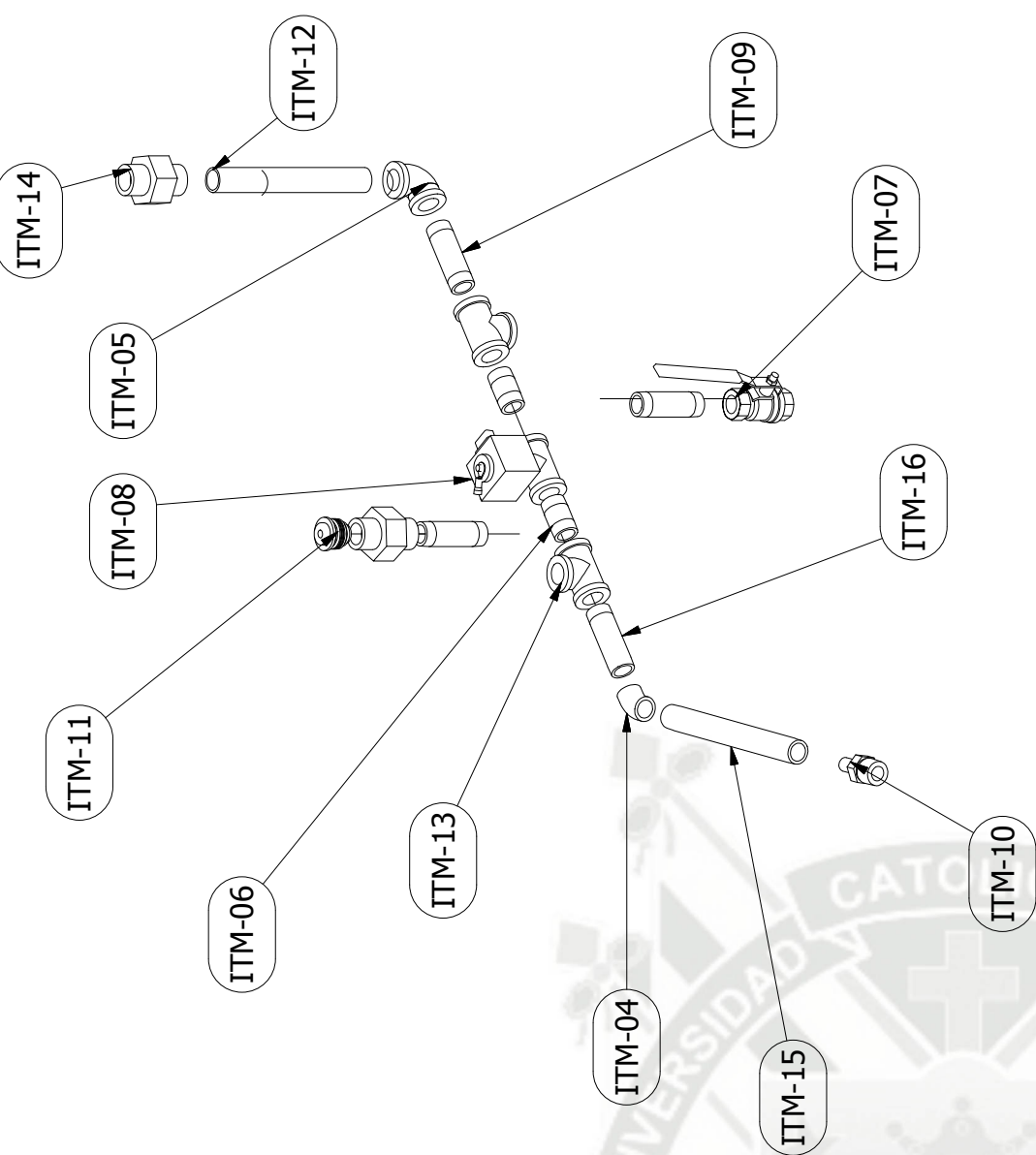
LISTA DE COMPONENTES			
ITEM	QTY	DESCRIPCIÓN	PLANO
1	1	BARANDILLA	2015-03-01
2	1	REVESTIMIENTO INTERIOR CÁMARA	2015-03-02
3	1	PLACA DE MADERA 4MM	2015-03-02
4	1	PISO CÁMARA	2015-03-02
5	1	BASE MADERA PUERTA 3MM	2015-03-02
6	1	BASE MADERA CÁMARA 3MM	2015-03-02
7	1	BARANDILLA	2015-03-01
8	1	PLACA ACERO INOXIDABLE PUERTA	2015-03-02
9	2	BISAGRA SOLDABLE	ANEXO 30
10	1	REVESTIMIENTO PUERTA	2015-03-02
11	1	REVESTIMIENTO DIFUSOR	2015-03-02
12	1	PLACA DIFUSOR	2015-03-02
13	1	PLACA ACERO INOXIDABLE CÁMARA	2015-03-02

DRAWN Fernando Márquez	03/08/2015	Universidad Católica de Santa María		
	CHECKED Ing. Jorge C.	21/08/2015	TITLE	
	APPROVED Ing. Camilo F.	21/08/2015	EXPLOSIÓN DE MÓDULO 3	
			SIZE A3	DWG NO 2015-03
			SCALE	INDICADA
			2	SHEET 4 OF 13



ELEMENTO: ENSAMBLE DESAGÜE

ESCALA: 1:5
MAT: PVC-P
CANT.: 1 UND.



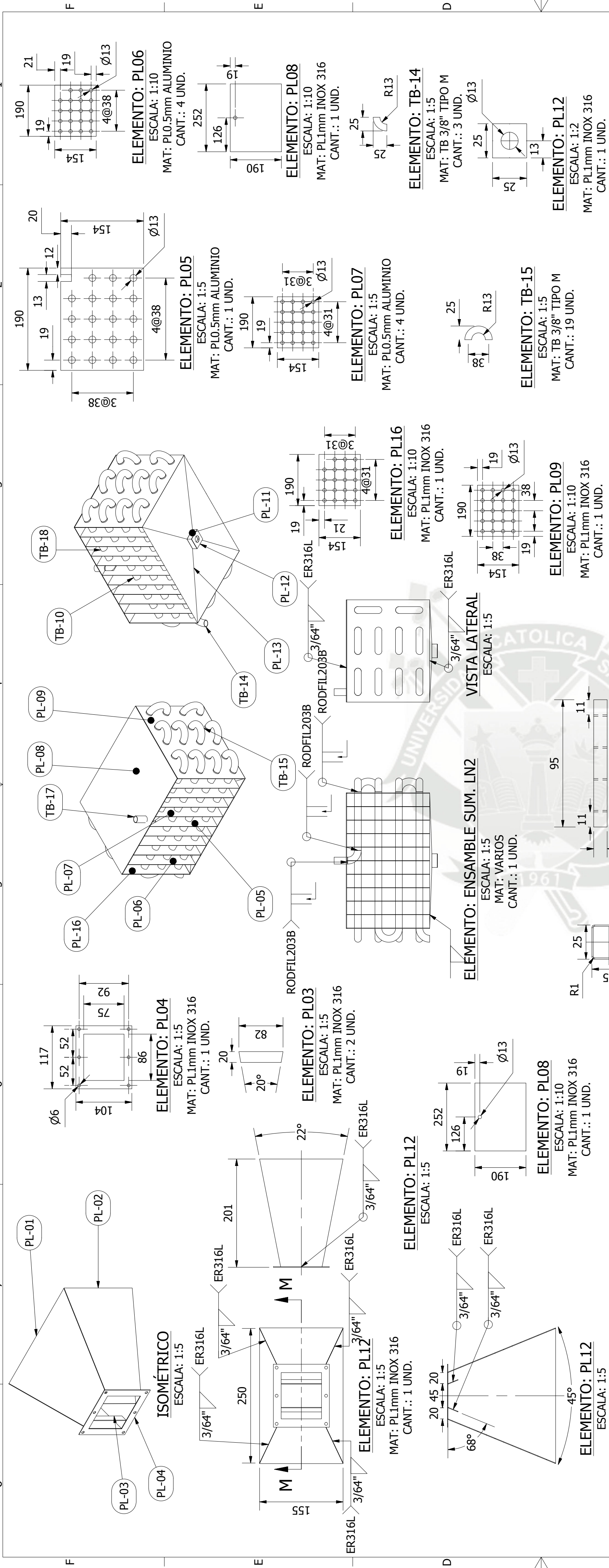
ELEMENTO: ENSEMBLE SUM. LN2

ESCALA: 1:5
MAT: VARIOS
CANT.: 1 UND.

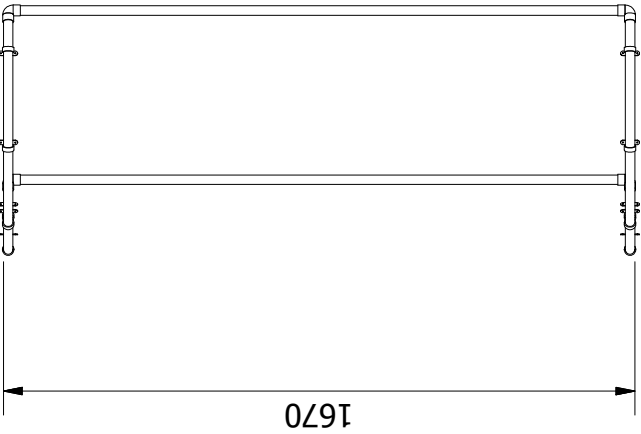
NOTAS

1. Para la soldadura (fuerte) de accesorios de cobre usar varilla plana RODFIL 203B

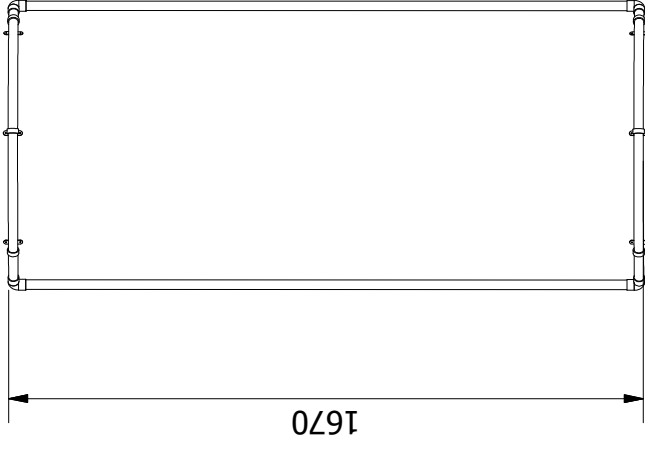
8	VALVULA DE ALIVIO ROSCADO EN EXTERNO CSCRV 3/8" SERIE 500	N/A	ITM-08	N/A	1	39	DRAWN Fernando Márquez	03/08/2015	ACCESORIOS	TITLE	Universidad Católica de Santa María
9	NIPLE TIPO M 3/8" ROSCADO EN DOS FINALES	COBRE	ITM-09	50	3	34	CHECKED Ing. Jorge C.	21/08/2015			
10	ACOPLE FLARE 45" 3/8"	BRONCE FUND.	ITM-10	N/A	1	37	APPROVED Ing. Camilo F.	21/08/2015			
11	VALVULA DE ALIVIO ROSCADO EN EXTERNO CSCRV 3/8" SERIE 500	BRONCE	ITM-11	N/A	1	35					
12	NIPLE TIPO M 3/8" ROSCADO EN DOS FINALES	COBRE	ITM-12	127	1	34					
13	TEE 3/8" HUMBOLDT	BRONCE FUND.	ITM-13	N/A	2	33					
14	UNIÓN UNIVERSAL 3/8	BRONCE FUND.	ITM-14	N/A	2	38					
15	NIPLE TIPO M 3/8" ROSCADO EN UN FINAL	COBRE	ITM-15	50	1	34					
16	NIPLE TIPO M 3/8" S/ROSCA	COBRE	ITM-15	150	1	34					
				5	4		3		2	INDICADA	SHEET 7 OF 13
6				4		3		2		1	

[illegible][illegible]

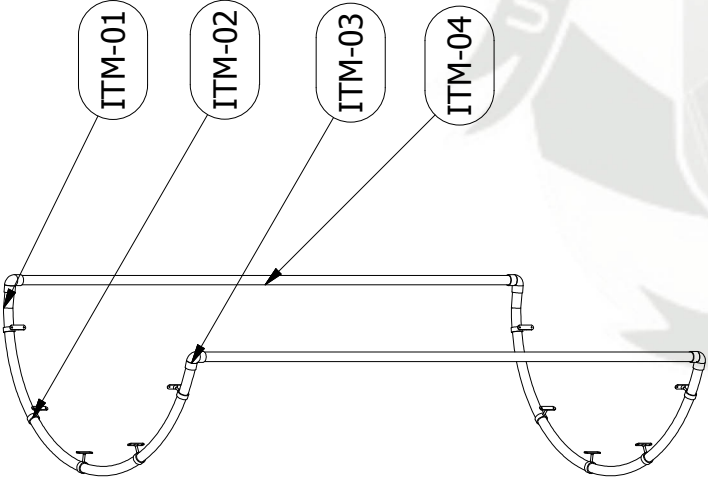
1. Todas las soldadura de cobre deberán usar varilla plana RODFIL 203B (Brazing) de 1.27mm x 3.25mm



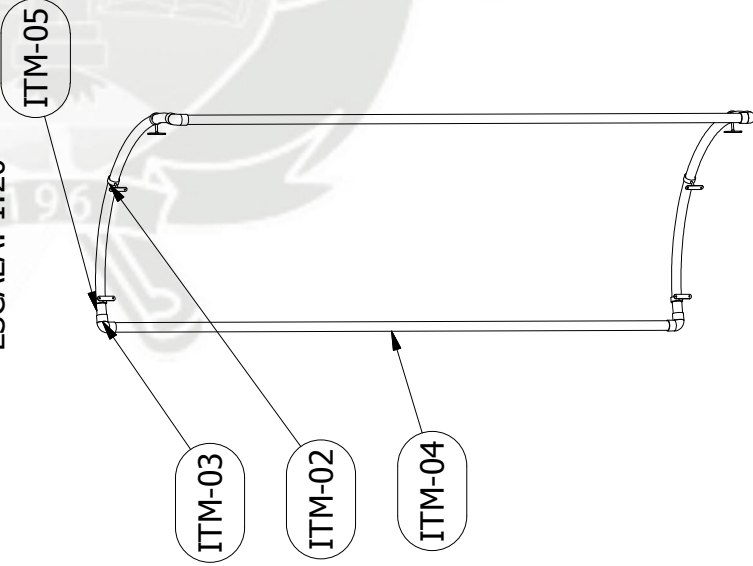
BARANDILLA CÁMARA
ESCALA: 1:20
MAT: ALUMINIO
CANT.: 1 UND.



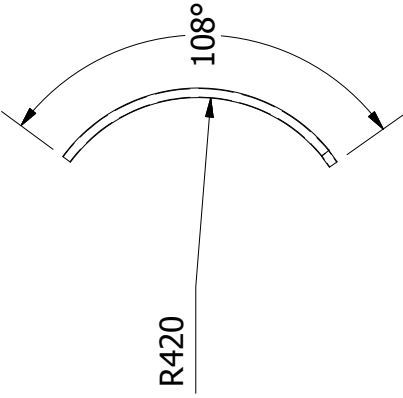
BARANDILLA PUERTA
ESCALA: 1:20
MAT: ALUMINIO
CANT.: 1 UND.



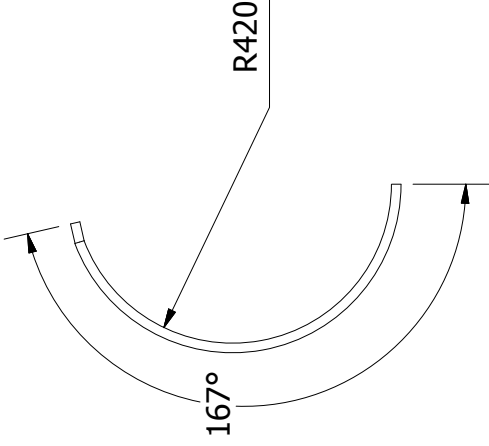
ISOMÉTRICO
ESCALA: 1:20



ISOMÉTRICO
ESCALA: 1:20



ELEMENTO: ITM-05
ESCALA: 1:20
MAT: TB ROLADO ALUMINIO Ø1"
CANT.: 2 UND.

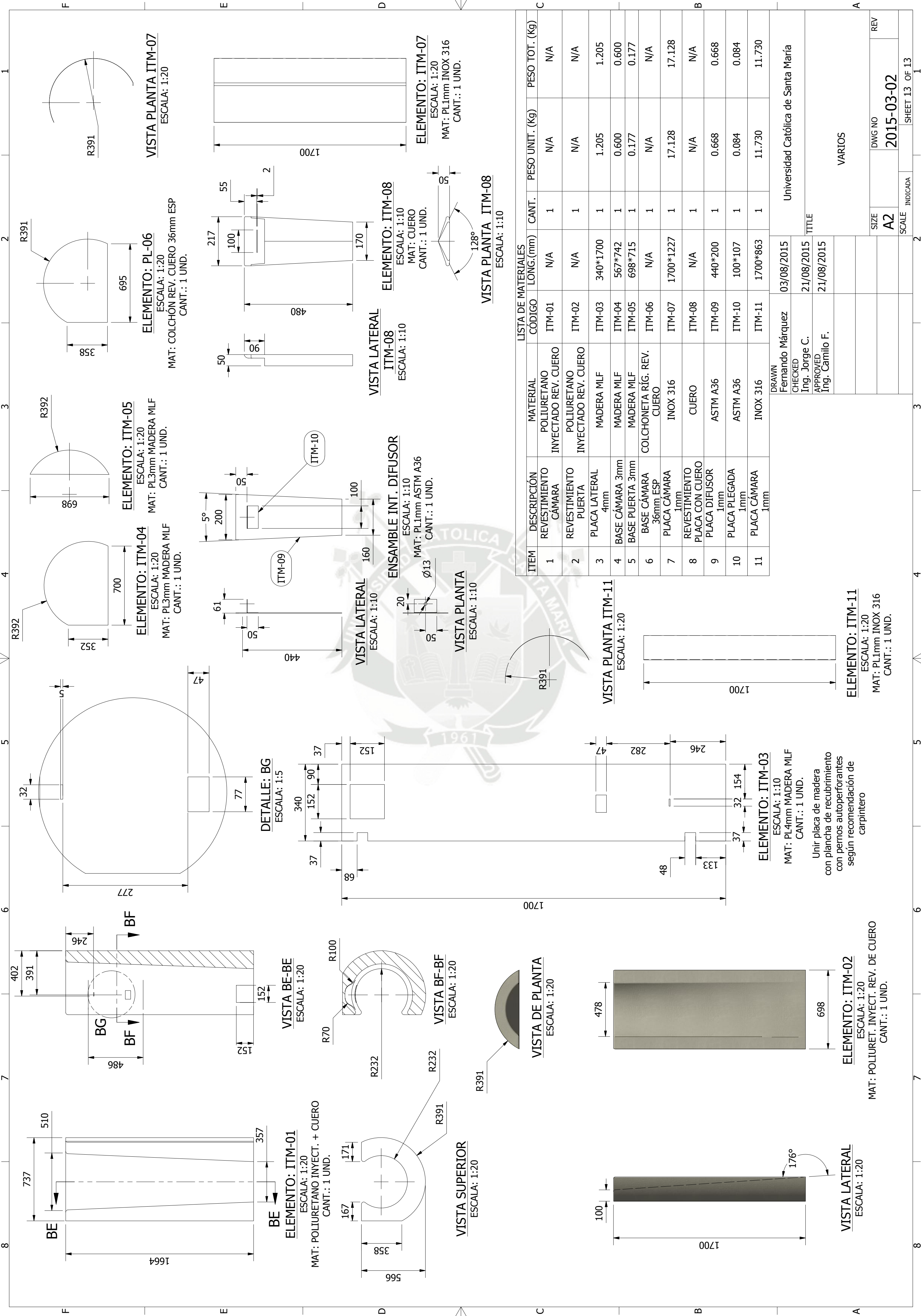


ELEMENTO: ITM-01
ESCALA: 1:20
MAT: TB ROLADO ALUMINIO Ø1"
CANT.: 2 UND.

LISTA DE MATERIALES						B	
ITEM	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CÓDIGO	LONG.(mm)	CANT.	PESO UNIT. (Kg)	PESO TOT. (Kg)
1	ARCO SUP. 1"	ALUMINIO	ITM-01	1224	2	0.297	0.594
2	SOP. PASANTE 1"	ALUMINIO	ITM-02	N/A	16	0.011	0.176
3	CODO A PRESIÓN 1"	ALUMINIO	ITM-03	N/A	8	0.015	0.120
4	TB 1"	ALUMINIO	ITM-04	1600	4	0.378	1.512
5	ARCO SUP. 1"	ALUMINIO	ITM-05	792	2	0.195	0.390

DRAWN		03/08/2015		Universidad Católica de Santa María	
Fernando Márquez					
CHECKED		21/08/2015		TITLE	
Ing. Jorge C.					
APPROVED		21/08/2015			
Ing. Camilo F.					
				BARANDILLAS DE CÁMARA Y PUERTA	
				SIZE	DWG NO
				A3	2015-03-01
				REV	
				SCALE	INDICADA
				2	SHEET 12 OF 13

2015-03-01	REV
------------	-----



LISTA DE MATERIALES							
ITEM	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CODIGO	LONG.(mm)	CANT.	PESO UNIT. (Kg)	PESO TOT. (Kg)
1	REVESTIMIENTO CÁMARA	POLIURETANO INYECTADO REV. CUERO	ITM-01	N/A	1	N/A	N/A
2	REVESTIMIENTO PUERTA	POLIURETANO INYECTADO REV. CUERO	ITM-02	N/A	1	N/A	N/A
3	PLACA LATERAL 4mm	MADERA MLF	ITM-03	340*1700	1	1.205	1.205
4	BASE CÁMARA 3mm	MADERA MLF	ITM-04	567*742	1	0.600	0.600
5	BASE PUERTA 3mm	MADERA MLF	ITM-05	698*715	1	0.177	0.177
6	BASE CÁMARA 36mm ESP	COLCHONETA RÍG. REV. CUERO	ITM-06	N/A	1	N/A	N/A
7	PLACA CÁMARA 1mm	INOX 316	ITM-07	1700*1227	1	17.128	17.128
8	REVESTIMIENTO PLACA CON CUERO	CUERO	ITM-08	N/A	1	N/A	N/A
9	PLACA DIFUSOR 1mm	ASTM A36	ITM-09	440*200	1	0.668	0.668
10	PLACA PLEGADA 1mm	ASTM A36	ITM-10	100*107	1	0.084	0.084
11	PLACA CÁMARA 1mm	INOX 316	ITM-11	1700*863	1	11.730	11.730

DRAWN	03/08/2015	Universidad Católica de Santa María		
Checked	21/08/2015	TITLE		
APPROVED	21/08/2015			
		VARIOS		
		SIZE	DWG NO	REV
		A2	2015-03-02	
		SCALE	INDICADA	SHEET 13 OF 13

ELEMEN TO: ITM-11				
ESCALA: 1:20				
MAT: PL1mm INOX 316				
CANT.: 1 UND.				

ELEMEN TO: ITM-03				
ESCALA: 1:10				
MAT: PL4mm MADERA MLF				
CANT.: 1 UND.				
Unir placa de madera con plancha de recubrimiento con pernos autoperforantes según recomendación de carpintero				

ELEMEN TO: ITM-02				
ESCALA: 1:20				
MAT: POLIURET. INYECT. REV. DE CUERO				
CANT.: 1 UND.				

VISTA LATERAL				
ESCALA: 1:20				