

---

# Tecnológico Nacional de México

## Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez

---



Ingeniería Mecánica

Reporte final de residencia profesional

“Análisis de flujo y optimización estructural  
en un filtro de membrana húmeda”

Empresa:  
Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial (CIDESI)

Presenta:

Julio César Bautista Cruz

Periodo: Agosto-Diciembre 2015

Asesor interno: Dr. Roberto Carlos García Gómez

Asesor externo: Dr. Luis del Llano Vizcaya



Santiago de Querétaro, Qro. 11 de diciembre de 2015



**“ANÁLISIS DE  
FLUJO Y  
OPTIMIZACIÓN  
ESTRUCTURAL EN  
UN FILTRO DE  
MEMBRANA  
HÚMEDA”**



## ÍNDICE GENERAL

<b>Índice de imágenes .....</b>	<b>6</b>
<b>Índice de tablas .....</b>	<b>10</b>
<b>Índice de graficas.....</b>	<b>10</b>
<b>Introducción.....</b>	<b>11</b>
<b>Justificación .....</b>	<b>12</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>MARCO DE REFERENCIA. ....</b>	<b>14</b>
1.1 Objetivos .....	16
1.2 Caracterización del área a participar .....	16
1.2.1 CIDESI.....	16
1.2.2 Misión.....	17
1.2.3 Visión .....	17
1.2.4 Dirección de Sistemas Automatizados, Gerencia de Maquinaria Rotativa.....	17
1.2.5 Localización .....	18
1.3 Problema a resolver.....	19
1.4 Delimitación del tema a investigar.....	19
1.5 Investigación del marco teórico .....	21
La importancia del agua .....	21
Métodos para la obtención del agua.....	22
Importancia de la desalinización del agua.....	24
Dinámica de fluidos computacional .....	24
SolidWorks Flow simulation.....	25
Métodos empleados para cálculos en Flow Simulation .....	26
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>DESARROLLO DEL PROYECTO .....</b>	<b>28</b>
2.1 Recibir capacitación .....	30
2.2 Creación componentes de prototipo 1 .....	31
2.3 Creación ensamble de prototipo 1 .....	39

2.4 Creación componentes de prototipo 2.....	45
2.5 Creación ensamble de prototipo 2.....	51
2.6 Caracterización de flujo en prototipo 1 .....	55
2.7 Caracterización de flujo en prototipo 2.....	90
<b>CAPÍTULO III</b>	
<b>MODIFICACIONES Y RESULTADOS FINALES .....</b>	<b>115</b>
3.1 Modificaciones a los diseños.....	117
3.2 Comparativa de los resultados.....	153
3.3 Conclusiones y recomendaciones.....	164
<b>Referencias.....</b>	<b>167</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>168</b>

## Índice de imágenes

<i>Imagen 1 Localización del CIDESI</i> .....	18
<i>Imagen 2 Distribución de agua en el mundo</i> .....	21
<i>Imagen 3 Tutoriales de SolidWorks</i> .....	30
<i>Imagen 4 Ventana de inicio de SolidWorks</i> .....	31
<i>Imagen 5 Ventana para selección de pieza, ensamble o dibujo</i> .....	32
<i>Imagen 6 Espacio de trabajo de SolidWorks</i> .....	32
<i>Imagen 7 Ventana de trabajo de eDrawings professional</i> .....	33
<i>Imagen 8 Abanico</i> .....	33
<i>Imagen 9 Peine</i> .....	34
<i>Imagen 10 Tapa de turbina</i> .....	34
<i>Imagen 11 Cúpula de cono</i> .....	34
<i>Imagen 12 Cuerpo del cono</i> .....	35
<i>Imagen 13 Base del cono</i> .....	35
<i>Imagen 14 Aspa del motor ventilador</i> .....	35
<i>Imagen 15 Carcasa del motor ventilador</i> .....	36
<i>Imagen 16 Motor ventilador</i> .....	36
<i>Imagen 17 Soporte de turbina</i> .....	36
<i>Imagen 18 Tapa del motor ventilador</i> .....	37
<i>Imagen 19 Rejilla</i> .....	37
<i>Imagen 20 Base del motor ventilador</i> .....	37
<i>Imagen 21 Base del motor de tracción</i> .....	38
<i>Imagen 22 Aro de fijación</i> .....	38
<i>Imagen 23 Tina</i> .....	38
<i>Imagen 24 Motor de tracción</i> .....	39
<i>Imagen 25 Componentes para el tambor</i> .....	39
<i>Imagen 26 Operaciones del abanico</i> .....	40
<i>Imagen 27 Ensamble del tambor</i> .....	40
<i>Imagen 28 Ensamble del motor ventilador</i> .....	41
<i>Imagen 29 Ensamble de cúpula</i> .....	41
<i>Imagen 30 Ensamble del motor de tracción</i> .....	42
<i>Imagen 31 Ensamble de tina</i> .....	42
<i>Imagen 32 Ensamblaje final desalinizador</i> .....	43
<i>Imagen 33 Renderizado del desalinizador prototipo 1</i> .....	44
<i>Imagen 34 Renderizado del desalinizador con transparencia prototipo 1</i> .....	44
<i>Imagen 35 Tapa de abanico</i> .....	45
<i>Imagen 36 Soporte de motor</i> .....	46
<i>Imagen 37 Peine</i> .....	46
<i>Imagen 38 Motor</i> .....	47
<i>Imagen 39 Contenedor superior</i> .....	47
<i>Imagen 40 Contenedor inferior</i> .....	48
<i>Imagen 41 Deflector interior</i> .....	48
<i>Imagen 42 Cubierta superior</i> .....	49
<i>Imagen 43 Chumacera y abanico</i> .....	49
<i>Imagen 44 Rueda dentada</i> .....	50
<i>Imagen 45 Carcasa del ventilador</i> .....	50
<i>Imagen 46 Impulsor ventilador</i> .....	50
<i>Imagen 47 Ensamble de tambor</i> .....	51
<i>Imagen 48 Ensamble de cubierta superior</i> .....	51
<i>Imagen 49 Ensamble general prototipo 2</i> .....	52
<i>Imagen 50 Renderizado del desalinizador, prototipo 2</i> .....	53
<i>Imagen 51 Renderizado del desalinizador con transparencia, prototipo 2</i> .....	53

<i>Imagen 52 Pestaña para Flow Simulaion.</i>	56
<i>Imagen 53 Activación de Flow Simulation.</i>	56
<i>Imagen 54 Asistente Wizard.</i>	57
<i>Imagen 55 Asignación del nombre del proyecto.</i>	57
<i>Imagen 56 Selección del sistema de unidades a trabajar.</i>	57
<i>Imagen 57 Tipo de estudio (intero/externo).</i>	58
<i>Imagen 58 Ventana para asignar le tipo de fluido.</i>	58
<i>Imagen 59 Condicones para las paeredes del ensamble.</i>	58
<i>Imagen 60 Condicones de temperatura, velocidad o temperatura.</i>	59
<i>Imagen 61 Selección del tipo de mallado para el analisis.</i>	59
<i>Imagen 62 Reconocimiento del fluido.</i>	59
<i>Imagen 63 Progreso de analisis.</i>	60
<i>Imagen 64 Estabilización de la solucion a los objetivos determinados.</i>	60
<i>Imagen 65 Creacion de tapas en el ventilador,para definición de dominio.</i>	61
<i>Imagen 66 Creación de la region rotativa.</i>	61
<i>Imagen 67 Colocacion de las condiciones iniciales atmosfericas y RPM del motor.</i>	62
<i>Imagen 68 Corte de velocidades 1 con vectores dirección.</i>	62
<i>Imagen 69 Corte de velocidades 2 con vectores dirección.</i>	63
<i>Imagen 70 Trayectorias del fluido en el ventilador, vista isometrica.</i>	64
<i>Imagen 71 Trayectorias del fluido en el ventilador, vista superior.</i>	64
<i>Imagen 72 Flujo volumetrico, entrada del ventilador.</i>	65
<i>Imagen 73 Flujo volumetrico, salida del ventilador.</i>	65
<i>Imagen 74 Creación de tapas.</i>	66
<i>Imagen 75 Colocación de las condiciones atmosfericas.</i>	67
<i>Imagen 76 Corte de velocidades del ensamble de cúpula.</i>	67
<i>Imagen 77 Distribución de velocidades en los orificios.</i>	68
<i>Imagen 78 Distribución de presiones del ensamble de cúpula.</i>	69
<i>Imagen 79 Distribución de presiones en los orificios.</i>	69
<i>Imagen 80 Trayectorias de fluido en el ensamble de cúpula.</i>	70
<i>Imagen 81 Trayectoria de fluido, vista superior.</i>	70
<i>Imagen 82 Flujo volumétrico a la entrada de la cúpula de cono.</i>	71
<i>Imagen 83 Flujo volumétrico a la salida de la base del cono.</i>	71
<i>Imagen 84 Creación de tapas.</i>	73
<i>Imagen 85 Colocación de la presión atmosférica y entrada de aire.</i>	73
<i>Imagen 86 Distribución de velocidades.</i>	74
<i>Imagen 87 Trayectorias de fluido.</i>	75
<i>Imagen 88 Distribución de presiones.</i>	75
<i>Imagen 89 Distribución de los vórtices.</i>	76
<i>Imagen 90 Creación de tapas de ensamblaje general.</i>	78
<i>Imagen 91 Tapas sometidas a la presión atmosférica y salida de aire.</i>	78
<i>Imagen 92 Distribución de velocidades del ensamble general.</i>	79
<i>Imagen 93 Trayectorias de fluido 1.</i>	80
<i>Imagen 94 Trayectorias de fluido 2.</i>	80
<i>Imagen 95 Distribución de presiones en el ensamble general.</i>	81
<i>Imagen 96 Presiones en la salida de los orificios.</i>	81
<i>Imagen 97 Vórtices generados en el ensamblaje general.</i>	82
<i>Imagen 98 Vórtices en la zona del tambor.</i>	83
<i>Imagen 99 Creación de tapas.</i>	84
<i>Imagen 100 Tapas sometidas a la presión atmosférica y salida de aire.</i>	85
<i>Imagen 101 Distribución de velocidades.</i>	85
<i>Imagen 102 Trayectoria de fluido.</i>	86
<i>Imagen 103 Distribución de presiones relativas.</i>	87
<i>Imagen 104 Presiones relativas en la salida de los orificios.</i>	87

<i>Imagen 105</i>	<i>Vórtices generados en el ensamble general.....</i>	<i>88</i>
<i>Imagen 106</i>	<i>Creación de caras en el ventilador.....</i>	<i>91</i>
<i>Imagen 107</i>	<i>Creación de la región rotativa.....</i>	<i>91</i>
<i>Imagen 108</i>	<i>Colocacion de las condiciones atmosféricas y RPM del motor.....</i>	<i>91</i>
<i>Imagen 109</i>	<i>Corte de velocidades 1 con vectores dirección.....</i>	<i>92</i>
<i>Imagen 110</i>	<i>Corte de velocidades 2 con vectores dirección.....</i>	<i>93</i>
<i>Imagen 111</i>	<i>Trayectoria de fluido, vista superior.....</i>	<i>93</i>
<i>Imagen 112</i>	<i>Trayectoria de fluido, vista isométrica.....</i>	<i>94</i>
<i>Imagen 113</i>	<i>Flujo volumétrico a la entrada del ventilador.....</i>	<i>94</i>
<i>Imagen 114</i>	<i>Flujo volumétrico a la salida del ventilador.....</i>	<i>95</i>
<i>Imagen 115</i>	<i>Creación de tapas para entrada y salida de aire.....</i>	<i>96</i>
<i>Imagen 116</i>	<i>Caras sometidas a presión atmosférica.....</i>	<i>96</i>
<i>Imagen 117</i>	<i>Distribución de velocidades en la zona media del ensamble general, en la sección del ventilador radial.....</i>	<i>97</i>
<i>Imagen 118</i>	<i>Abertura en del deflector interior.....</i>	<i>97</i>
<i>Imagen 119</i>	<i>Velocidades en la zona de abertura del deflector interior.....</i>	<i>98</i>
<i>Imagen 120</i>	<i>Presiones generadas en la zona de la abertura.....</i>	<i>98</i>
<i>Imagen 121</i>	<i>Corte de velocidades en la zona central del ensamble general.....</i>	<i>99</i>
<i>Imagen 122</i>	<i>Trayectoria del aire por el deflector.....</i>	<i>100</i>
<i>Imagen 123</i>	<i>Presiones generadas en la zona central del ensamble general.....</i>	<i>101</i>
<i>Imagen 124</i>	<i>Distribución de presiones en el ensamble general, zona de abanicos.....</i>	<i>102</i>
<i>Imagen 125</i>	<i>Vórtices generados en el ventilador.....</i>	<i>103</i>
<i>Imagen 126</i>	<i>Vórtices generados en la zona de abanicos.....</i>	<i>103</i>
<i>Imagen 127</i>	<i>Trayectoria de fluido 1, prototipo 2 en vista isométrica.....</i>	<i>104</i>
<i>Imagen 128</i>	<i>Trayectoria de fluido 2, prototipo 2 en vista isométrica.....</i>	<i>104</i>
<i>Imagen 129</i>	<i>Trayectoria de fluido 3, con tambor en vista frontal.....</i>	<i>105</i>
<i>Imagen 130</i>	<i>Trayectoria de fluido 4, sin tambor en vista frontal.....</i>	<i>105</i>
<i>Imagen 131</i>	<i>Caras para entrada de aire.....</i>	<i>106</i>
<i>Imagen 132</i>	<i>Caras para salida de aire.....</i>	<i>106</i>
<i>Imagen 133</i>	<i>Creación de la región atmosférica y salida de aire.....</i>	<i>108</i>
<i>Imagen 134</i>	<i>Caras sometidas a presión atmosférica y salida de aire.....</i>	<i>108</i>
<i>Imagen 135</i>	<i>Distribución de velocidades en la zona media del ensamble general.....</i>	<i>109</i>
<i>Imagen 136</i>	<i>Distribución de presiones en la zona media del ensamble general, prototipo 2.....</i>	<i>110</i>
<i>Imagen 137</i>	<i>Vórtices generados en el ensamble general, prototipo 2.....</i>	<i>110</i>
<i>Imagen 138</i>	<i>Corte de velocidades en la zona de abertura.....</i>	<i>111</i>
<i>Imagen 139</i>	<i>Presiones generadas en la zona de abertura, prototipo 2.....</i>	<i>111</i>
<i>Imagen 140</i>	<i>Trayectoria de fluido, vista isométrica.....</i>	<i>112</i>
<i>Imagen 141</i>	<i>Trayectoria de fluido, vista isométrica con corte en la zona media.....</i>	<i>112</i>
<i>Imagen 142</i>	<i>Trayectoria de fluido, vista isométrica, zona de salida de aire.....</i>	<i>112</i>
<i>Imagen 143</i>	<i>Trayectoria de fluido, vista superior.....</i>	<i>113</i>
<i>Imagen 144</i>	<i>Aspa de motor ventilador modificado y Base del cono modificado.....</i>	<i>118</i>
<i>Imagen 145</i>	<i>Carcasa del motor ventilador y base del motor ventilador con excentricidad.....</i>	<i>118</i>
<i>Imagen 146</i>	<i>Creación de tapas para entrada y salida de aire.....</i>	<i>118</i>
<i>Imagen 147</i>	<i>Creación de región rotativa.....</i>	<i>119</i>
<i>Imagen 148</i>	<i>Designación de caras para presión atmosférica y región rotativa.....</i>	<i>119</i>
<i>Imagen 149</i>	<i>Corte de velocidades 1 del ensamble del motor modificado.....</i>	<i>119</i>
<i>Imagen 150</i>	<i>Corte de velocidades 2 del ensamble del motor modificado.....</i>	<i>120</i>
<i>Imagen 151</i>	<i>Corte de velocidades del ensamble del motor modificado, vista superior.....</i>	<i>120</i>
<i>Imagen 152</i>	<i>Trayectoria de fluido, vista isométrica.....</i>	<i>121</i>
<i>Imagen 153</i>	<i>Trayectoria de fluido, vista superior.....</i>	<i>121</i>
<i>Imagen 154</i>	<i>Flujo volumetrico, entrada del ventilador.....</i>	<i>122</i>
<i>Imagen 155</i>	<i>Flujo volumetrico, salida del ventilador.....</i>	<i>122</i>
<i>Imagen 156</i>	<i>Creación de tapas para entrada de aire.....</i>	<i>123</i>
<i>Imagen 157</i>	<i>Region rotativa.....</i>	<i>124</i>

<i>Imagen 158 Corte de velocidades en el ensamble de cúpula modificado.....</i>	<i>124</i>
<i>Imagen 159 Velocidades a la salida de los orificios de la base del cono.....</i>	<i>125</i>
<i>Imagen 160 Distribución de presiones en el ensamble de cúpula modificado.....</i>	<i>126</i>
<i>Imagen 161 Presiones a la salida de los orificios de la base del cono.....</i>	<i>127</i>
<i>Imagen 162 Vórtices generados en el ensamble de cúpula modificado.....</i>	<i>127</i>
<i>Imagen 163 Trayectorias del fluido en el ensamble de cono modificado en vista isométrica.....</i>	<i>128</i>
<i>Imagen 164 Trayectorias de fluido en vista frontal y vista superior.....</i>	<i>129</i>
<i>Imagen 165 Flujo volumétrico a la entrada de la cúpula de cono modificado.....</i>	<i>129</i>
<i>Imagen 166 Flujo volumétrico a la salida de la cúpula de cono.....</i>	<i>130</i>
<i>Imagen 167 Creación de tapas.....</i>	<i>131</i>
<i>Imagen 168 Colocación de la presión atmosférica y entrada de aire.....</i>	<i>131</i>
<i>Imagen 169 Distribución de velocidades del ensamble general.....</i>	<i>132</i>
<i>Imagen 170 Distribución de presiones en el ensamble general.....</i>	<i>133</i>
<i>Imagen 171 Presiones en los orificios.....</i>	<i>134</i>
<i>Imagen 172 Vórtices generados en el ensamble general modificado.....</i>	<i>134</i>
<i>Imagen 173 Trayectoria de fluido en vista isometrica.....</i>	<i>135</i>
<i>Imagen 174 Trayectoria de fluido, vista superior y vista isometrica.....</i>	<i>135</i>
<i>Imagen 175 Ranuras al contenedor superior.....</i>	<i>137</i>
<i>Imagen 176 Deflectores para conducir el aire hacia los abanicos y tobera.....</i>	<i>138</i>
<i>Imagen 177 Deflector expandido.....</i>	<i>138</i>
<i>Imagen 178 Eliminación del motor al interior del ensamble.....</i>	<i>139</i>
<i>Imagen 179 Creación de tapas para salida y entrada de aire.....</i>	<i>139</i>
<i>Imagen 180 Región rotativa para el ventilador.....</i>	<i>140</i>
<i>Imagen 181 Corte de velocidades zona del ventilador en el prototipo 2 modificado.....</i>	<i>140</i>
<i>Imagen 182 Corte de velocidades en la zona inferior del prototipo 2 modificado.....</i>	<i>141</i>
<i>Imagen 183 Distribución de presiones en la zona del ventilador del prototipo 2 modificado.....</i>	<i>142</i>
<i>Imagen 184 Distribución de presiones en la zona inferior del prototipo 2 modificado.....</i>	<i>143</i>
<i>Imagen 185 Vórtices generados en la zona del ventilador del prototipo 2 modificado.....</i>	<i>144</i>
<i>Imagen 186 Vórtices generados en la zona inferior del prototipo 2 modificado.....</i>	<i>144</i>
<i>Imagen 187 Trayectorias del fluido del prototipo 2 modificado.....</i>	<i>145</i>
<i>Imagen 188 Trayectoria de fluido, vista superior.....</i>	<i>146</i>
<i>Imagen 189 Creacion de cara s para la entrada de aire.....</i>	<i>148</i>
<i>Imagen 190 Entrada de aire y caras sometidas a la presion atmosferica.....</i>	<i>148</i>
<i>Imagen 191 Corte de velocidades en el ensamble general, prototipo 2 modificado.....</i>	<i>149</i>
<i>Imagen 192 Trayectoria de fluido 1 en vista isometrica.....</i>	<i>150</i>
<i>Imagen 193 Trayectoria de fluido 1 en vista isometrica.....</i>	<i>150</i>
<i>Imagen 194 Distribucion de presiones en el prototipo 2 modificado.....</i>	<i>151</i>
<i>Imagen 195 Distribucion de vortices en el prototipo 2 modificado.....</i>	<i>152</i>
<i>Imagen 196 Vórtice generado por el paso de un ala de avión, revelado con humo coloreado.....</i>	<i>172</i>
<i>Imagen 197 Velocidades en los alabes de una bomba o ventilador.....</i>	<i>173</i>
<i>Imagen 198 Partes del impulsor.....</i>	<i>174</i>
<i>Imagen 199 Tipos de alabes.....</i>	<i>176</i>
<i>Imagen 200 Geometría para los alabes realizados en SolidWorks.....</i>	<i>177</i>

## Índice de tablas

<i>Tabla 1</i> Parámetros a la entrada del ventilador. ....	65
<i>Tabla 2</i> Parámetros a la salida del ventilador. ....	65
<i>Tabla 3</i> Parámetros a la entrada de la cúpula de cono. ....	71
<i>Tabla 4</i> Parámetros a la salida de la base del cono. ....	72
<i>Tabla 5</i> Parámetros del flujo de aire en la base del cono. ....	76
<i>Tabla 6</i> Parámetros a la entrada del ventilador. ....	94
<i>Tabla 7</i> Parámetros a la salida del ventilador. ....	95
<i>Tabla 8</i> Parámetros a la entrada del ensamble general. ....	106
<i>Tabla 9</i> Parámetros a la salida del ensamble general. ....	106
<i>Tabla 10</i> Parámetros a la entrada del ventilador modificado. ....	122
<i>Tabla 11</i> Parámetros a la salida del ventilador modificado. ....	122
<i>Tabla 12</i> Parámetros a la entrada del ensamble de cúpula modificado. ....	129
<i>Tabla 13</i> Parámetros a la salida del ensamble de cúpula modificado. ....	130
<i>Tabla 14</i> Parámetros a la entrada del prototipo 2 modificado. ....	146
<i>Tabla 15</i> Parámetros a la salida del prototipo 2 modificado. ....	147
<i>Tabla 16</i> Comparativa de resultados del prototipo 1. ....	153
<i>Tabla 17</i> Comparativa de resultados del prototipo 2. ....	157
<i>Tabla 18</i> Comparativa de resultados del prototipo 1 vs prototipo 2. ....	161
<i>Tabla 19</i> Iteraciones para el cálculo de dimensiones de alabes. ....	177

## Índice de graficas

<i>Gráfica 1</i> Presiones representativas prototipo 1, con parámetros ideales. ....	154
<i>Gráfica 2</i> Velocidades representativas prototipo 1, con parámetros ideales. ....	154
<i>Gráfica 3</i> Vórtices representativos prototipo 1, con parámetros ideales. ....	155
<i>Gráfica 4</i> Presiones representativas prototipo 1, con parámetros reales. ....	156
<i>Gráfica 5</i> Velocidades representativas prototipo 1, con parámetros reales. ....	156
<i>Gráfica 6</i> Vórtices representativos prototipo 1, con parámetros reales. ....	157
<i>Gráfica 7</i> Presiones representativas prototipo 2, con parámetros ideales. ....	158
<i>Gráfica 8</i> Velocidades representativas prototipo 2, con parámetros ideales. ....	158
<i>Gráfica 9</i> Vórtices representativos prototipo 2, con parámetros ideales. ....	159
<i>Gráfica 10</i> Presiones representativas prototipo 2, con parámetros reales. ....	160
<i>Gráfica 11</i> Velocidades representativas prototipo 2, con parámetros reales. ....	160
<i>Gráfica 12</i> Vórtices representativos prototipo 2, con parámetros reales. ....	161
<i>Gráfica 13</i> Presiones representativas, prototipo 1 vs prototipo 2. ....	162
<i>Gráfica 14</i> Velocidades representativas, prototipo 1 vs prototipo 2. ....	163
<i>Gráfica 15</i> Vórtices representativos, prototipo 1 vs prototipo 2. ....	163

## Introducción

Hoy día, el desarrollo de proyectos de investigación aplicada e innovación tecnológica, están orientados a la solución de problemas específicos. Es por esto, que el presente proyecto de residencia denominado “*Análisis de flujo y optimización estructural en un filtro de membrana húmeda*” busca caracterizar y optimizar trayectorias de fluido, parámetros de presión, velocidad y vórtices en el interior de dos prototipos desalinizadores, mediante el uso de software especializado y lograr un diseño final.

La importancia de este estudio se debe a que, actualmente se está trabajando de manera experimental generando diversos modelos para concretar una operación funcional, se llega a un punto donde se requiere aplicación de software especializado para caracterizar trayectorias de flujo y simular condiciones de aire circulando al interior de los prototipos con el fin de optimizarlos.

Recurrir a soluciones analíticas sería imposible debido a la tremenda complejidad para este tipo de análisis, por lo que se requieren soluciones numéricas que son computadas por ordenadores, estas soluciones se basan en aproximaciones numéricas de las ecuaciones físicas empleadas en la dinámica de fluidos.

Este proyecto busca la realización de tres tipos de análisis de dinámica de fluidos computacional (CFD, por sus siglas en inglés). En el primero se considera la geometría existente, para referencia de caracterización de trayectorias, parámetros de velocidad y presión en la que opera actualmente el dispositivo; el segundo considera la geometría existente comparativa, en el que se proponen parámetros de entrada y salida de aire; finalmente el tercero considera una geometría modificada, servirá como optimización de trayectorias, cambiando la geometría para mejorar la funcionalidad del dispositivo.

La importancia de este tipo de estudio recaen en que el analizar antes un sistema mediante métodos numéricos facilita muchos procesos en la industria, ya que se reducen los costos en pruebas y esto da más oportunidad a muchas personas para realizar dichos análisis. El método de análisis CFD usando *SolidWorks-2014*, con la herramienta *Flow Simulation-2014* para la simulación de fluidos en los prototipos, permitirá una optimización a los parámetros del fluido y sus direcciones.

Una vez terminados estos análisis se procederá a una comparativa de los resultados para determinar cuál de los dos prototipos es la mejor alternativa.

## Justificación

Actualmente, CIDESI se dedica a contribuir al desarrollo del sector productivo del país a través de proyectos de investigación e innovación, así como servicios tecnológicos especializados de alto nivel. CIDESI mantiene alianzas estratégicas efectivas en investigación y desarrollo, de igual manera en la formación de capital humano con instituciones nacionales, internacionales y además con empresas del sector privado.

Entre los diferentes estudios realizados en CIDESI, los más notables son los estudios de mecánica de fluidos ya que, prácticamente, los fluidos están presentes en todos los aspectos de nuestra vida; actos tan cotidianos como tomar una ducha, respirar o beber agua, requieren necesariamente la circulación de fluidos.

El estudio de la mecánica de fluidos puede ayudarnos tanto para comprender la complejidad del medio natural, como para mejorar el mundo que hemos creado. Es por esto, la importancia de conocer cómo se expresa esta información en términos cuantitativos, o la manera en que se diseñan sistemas con base en este conocimiento, mismos que se utilizarán para otros fines.

El conocer y entender los principios básicos de la mecánica de fluidos es esencial en el análisis y diseño de cualquier sistema en el cual el fluido es el elemento de trabajo. Hoy día, el diseño de, virtualmente, todos los medios de transporte requiere la aplicación de la mecánica de fluidos. Entre estos se incluyen tanto los aviones como máquinas terrestres, barcos, submarinos, automóviles, diseño de sistemas de propulsión para vuelos especiales y cohetes.

Se han hecho estudios en modelo reducido para determinar las fuerzas aerodinámicas y estudiar el flujo alrededor de edificios, puentes y otras estructuras complejas. El diseño de turbo maquinarias como bombas, hélices y turbinas requieren de conocimientos de mecánica de fluidos, los sistemas de calefacción y de ventilación, tanto de viviendas e industrias como de construcciones subterráneas, túneles y otros, así como el diseño de sistemas de cañerías son ejemplos en los cuales las técnicas de diseño están basadas en la mecánica de fluidos; incluso el sistema de circulación del cuerpo humano es un sistema fluido; de ahí el diseño de corazones artificiales, máquinas de diálisis y ayudas respiratorias. [1]

En la actualidad, en muchos campos es imposible recurrir a soluciones analíticas debido a la tremenda complejidad de los sistemas que estudia la dinámica de fluidos, por lo que se recurre a soluciones numéricas que pueden ser computadas por ordenadores. Surge así una rama denominada dinámica de fluidos computacional, o CFD, que se basa en aproximaciones numéricas de las ecuaciones físicas empleadas en la dinámica de fluidos.

A veces no basta un modelo que “parezca” comportarse como un fluido, sino que es necesario conocer de forma muy exacta cómo se comporta un fluido realmente. Los modelos de CFD que se utilicen en cualquier campo de la ingeniería deben ser muy estrictos con la precisión del modelo, procurando que éste se asemeje lo máximo posible al comportamiento real del fluido. Siempre que se habla de métodos numéricos, como los utilizados en CFD, estamos hablando de aproximación, por lo que muchas veces será imposible garantizar que el modelo es exacto, y todos los esfuerzos se deben centrar en acotar el error y hacer los modelos tan precisos como sea posible.

[2]

Por esta razón, es de gran ayuda que en el CIDESI se tenga un área en el estudio de este tipo de fenómenos, con personal especializado y equipos de gran capacidad, ya que provee la facilidad a las diferentes empresas nacionales o internacionales al solicitar su apoyo en los estudios de fluido que requieran sus diferentes componentes y dispositivos.

Por todo lo anterior, se realiza este estudio de análisis y optimización estructural en un filtro de membrana húmeda simulando condiciones de aire circulando al interior de dos prototipos filtro-desalinizadores con el fin de optimizar y visualizar su comportamiento, y de esta manera comparar el funcionamiento de cada prototipo.

# **CAPÍTULO I**

# **MARCO DE**

# **REFERENCIA.**



## **1.1 Objetivos**

Objetivo General:

- Crear el diseño de dos filtros que se usarán para la desalinización del agua, incluyendo el modelado de piezas y ensambles usando SolidWorks-2014, así también como el análisis de flujo de aire mediante la herramienta Flow Simulation-2014.

Objetivos Específicos:

- Simular condiciones diversas tales como trayectorias de fluido, posibles vórtices, distribución de presión y velocidad del fluido en los dos prototipos con:
  - Geometría existente (*sin modificar parámetros de entrada y salida de aire*)
  - Geometría existente comparativa (*modificando parámetros de entrada y salida de aire*)
  - Geometría modificada (*modificando la geometría de los componentes y parámetros de entrada y salida de aire*)
- Realizar una comparativa de resultados entre los dos prototipos de cada una de las configuraciones geométricas mencionadas.

## **1.2 Caracterización del área a participar**

### **1.2.1 CIDESI**

Desarrollo de proyectos de investigación aplicada e innovación tecnológica, orientados a la solución de problemas específicos. El Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial, CIDESI, se fundó el 9 de marzo de 1984. Perteneció al Sistema de Centros del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, CONACYT.

CIDESI contribuye al desarrollo del sector productivo del país, a través de proyectos de Investigación e Innovación, así como servicios tecnológicos especializados de alto nivel, en sus sedes ubicadas en los Estados de Querétaro, Nuevo León, dentro del Parque de Investigación e Innovación Tecnológica, en el Estado de México y en Tijuana dentro del Consorcio Tecnológico de Baja California.

### **1.2.2 Misión**

Crear soluciones de alto valor para nuestros clientes basadas en investigación aplicada y desarrollo experimental.

### **1.2.3 Visión**

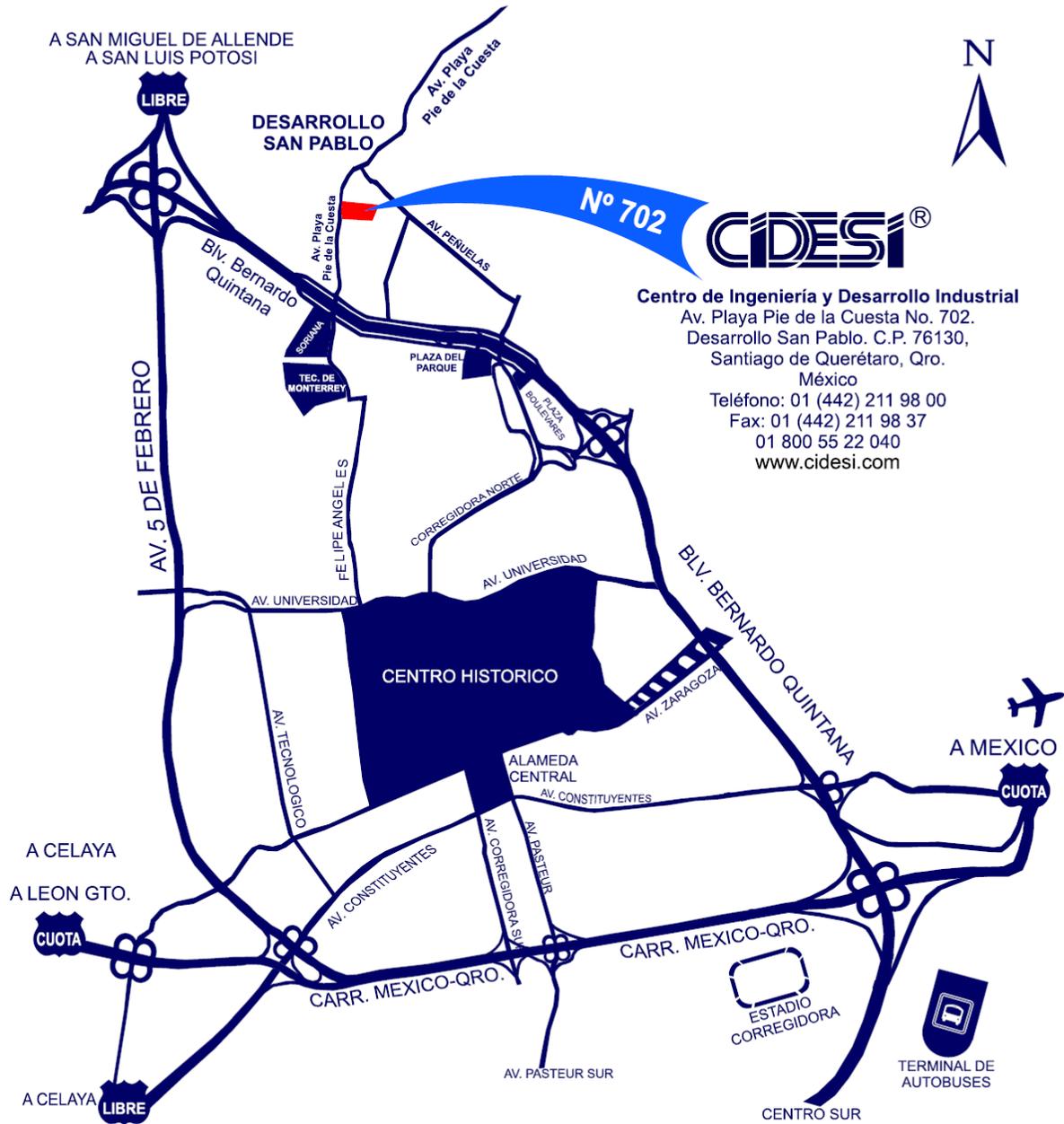
Ser una institución de clase mundial, autosuficiente, con reconocimiento nacional e internacional por sus productos y servicios de alto impacto.

### **1.2.4 Dirección de Sistemas Automatizados, Gerencia de Maquinaria Rotativa**

El presente proyecto de residencias se llevó a cabo en las instalaciones del departamento de Maquinaria Rotativa bajo la Dirección de Sistemas Automatizados en la Dirección de Investigación, Desarrollo e Innovación.

El departamento se dedica a la verificación, cotización y administración de proyectos multidisciplinarios solicitados por terceros. Dependiendo del proyecto, también se encarga del diseño mecánico y/o matrices de experimentos para optimización de equipos y prototipos.

**1.2.5 Localización**



*Imagen 1 Localización del CIDESI.*

### 1.3 Problema a resolver

- Mediante la realización de este estudio se busca determinar las trayectorias óptimas de fluido dentro de los prototipos 1 y 2, a si mismo conocer los diferentes parámetros de velocidad, presión y vórtices.
- Rediseño de algunos componentes para determinar si se obtiene un mejor funcionamiento de los prototipos.
- Determinar bajo qué condiciones geometrías del ensamble se presentan mejores condiciones de velocidad y flujo volumétrico de aire en los dos prototipos.

### 1.4 Delimitación del tema a investigar

Se tienen dos dispositivos Filtro-desalinizadores, llamados prototipo 1 y prototipo 2, se ha estado trabajando de manera experimental generando diversos modelos para concretar una operación funcional. Actualmente se llega a un punto donde se requiere aplicación de software especializado para caracterizar trayectorias de flujo y simular condiciones de aire circulando al interior del dispositivo con el fin de optimizarlos.

Se considera la realización de 3 tipos de análisis de dinámica de fluidos computacional (CFD), considerando los dos prototipos, descrito brevemente a continuación.

1. Análisis de flujo considerando la *geometría existente*. Esto servirá como referencia de caracterización de trayectorias y parámetros de velocidad y presión en la que opera actualmente el dispositivo.
2. Análisis de flujo considerando la *geometría existente comparativa*. En este análisis se proponen parámetros de entrada y salida de aire. Esto servirá como comparativo de trayectorias y parámetros de velocidad, presión. Lo anterior recomendado para homogeneización de funcionalidad del dispositivo. Este análisis será comparado con análisis CFD No. 1.
3. Análisis flujo considerando *geometría modificada*. Esta servirá como optimización y suavización de trayectorias, homogeneización de vórtices, cambiando geometría de entradas y salidas para mejorar la funcionalidad del dispositivo. Este análisis será comparado con análisis CFD No. 1 y 2 de cada prototipo.

Después de la realización de estos análisis se realizará una comparativa de ventajas y desventajas en análisis CFD entre prototipo 1 y 2 para definir de la mejor alternativa de prototipo.

El proyecto considera los siguientes puntos:

- a) El fluido usado es aire, el análisis se considera como entrada a un gasto volumétrico o también mediante una región rotativa, el resto del prototipo estará sometido a presión ambiente.
- b) Se contemplará un espejo de agua como un componente sólido tipo pared para la realización de los análisis de flujo.
- c) Determinación de la lista de componentes que deben ser modificados.
- d) Análisis de flujo con componentes modificados.
- e) Comparativa de resultados.

El proyecto no considera los siguientes puntos:

- f) Cálculo de transferencia de masa o variación de temperaturas.
- g) No se incluye en las simulaciones los componentes de sujeción (remaches, tornillos, tuercas).
- h) No se incluye estimación de vida útil de la estructura (considerando pruebas de fatiga).
- i) Planos de las piezas terminadas.
- j) No se incluye matriz de experimentos.

## **Metodología**

Tipo de investigación:

- Investigación experimental.

Técnicas usadas:

- Documental y análisis numérico.

## 1.5 Investigación del marco teórico

### La importancia del agua

El agua –del latín aqua–, es un elemento esencial para la supervivencia de todas las formas conocidas de vida en la Tierra, asimismo es el componente más abundante de la superficie terrestre. Se puede definir como: una sustancia líquida, inodora, insípida e incolora, es parte constituyente de todos los organismos vivos y aparece con frecuencia en los compuestos naturales. El concepto “agua” en sentido amplio, refiere a su estado líquido, pero la misma puede hallarse en forma sólida llamada hielo, y en forma gaseosa denominada vapor. Su molécula está formada por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno; cuya fórmula química es notada como H<sub>2</sub>O. [3]

Del agua que cubre el 70% de la superficie terrestre, sólo 2.5% corresponde a agua dulce y el resto a salada. De esta pequeña fracción, 70% se encuentra congelada en los casquetes polares y el 30% restante distribuido en la atmósfera, en los cuerpos de agua superficiales y en los acuíferos fuentes no siempre explotables. Menos de 0.01% del agua del planeta es aprovechable para consumo humano. [5]

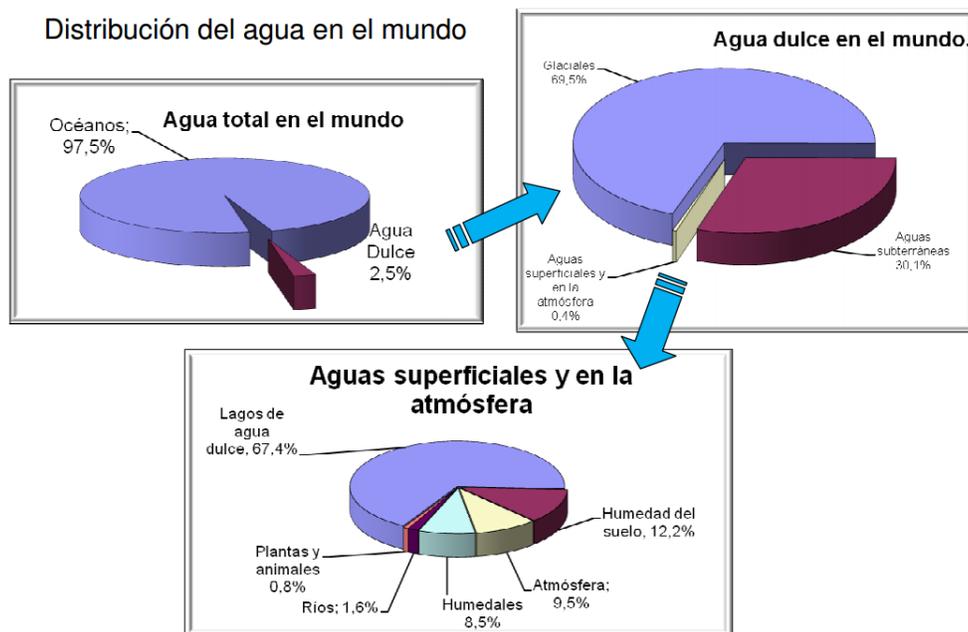


Imagen 2 Distribución de agua en el mundo. Tomado de: (Baeza, 2007).

El uso que se hace del agua aumenta en relación con la cantidad de agua disponible, es decir el consumo de recursos hídricos per cápita sigue creciendo. La población actual del planeta ya se ha adueñado del 54 por ciento del agua dulce disponible en ríos, lagos y acuíferos subterráneos. La mayor cantidad de la extracción anual de agua para uso humano se destina a la agricultura (principalmente para riego); después para la industria y la menor cantidad para el consumo doméstico (hogar, agua para beber, saneamiento).

En el caso de México el uso indiscriminado del agua, en las actividades urbanas y rurales, agrícolas, domésticas e industriales, la pone en peligro, porque a pesar de una visión optimista de que el agua es un recurso renovable, la realidad es que al contaminarse y desperdiciarse las fuentes de agua potable cada vez son menos.

“México no se considera como un país con escasez de agua, ya que si bien su dotación promedio por habitante (de 4.99 mil m<sup>3</sup>/hab/año) es menor que la de países como Brasil y Estados Unidos de América, es mayor que la de países como Francia, China y la India, y ciertamente no llega a los niveles críticos de países como Arabia Saudita. Pero la problemática del agua en México no es la cantidad absoluta del agua que recibe cada año, sino su distribución temporal y espacial muy irregular. Así, de una precipitación media total de alrededor de 772 mm/año, equivalente a 1,519 km<sup>3</sup> de agua, el sureste del país recibe la mayor cantidad. De ésta, la mayor parte llega entre junio y septiembre.” [5]

### **Métodos para la obtención del agua.**

La escasez de agua dulce en muchas zonas de nuestro planeta, debido a la industrialización y desarrollo de muchos países, requiere mayores cantidades de agua. Para abastecer este problema en muchos lugares hay que recurrir a otras vías y tecnologías distintas de las que en otros lugares se han considerado como convencionales, entre algunas están:

- *Desalinización:* Es el proceso de obtener agua dulce a partir del agua de mar o aguas salobres, eliminando la sal.

Las plantas desalinizadoras ayudan a brindar agua a lugares donde esta escasea. El sistema de desalinización lleva muchos años aplicándose con éxito por todo el mundo. Para desalinizar el agua se utiliza generalmente los sistemas de ósmosis inversa, destilación, evaporación y congelación, entre las más frecuentes. [6]

- *Osmosis inversa:* La ósmosis inversa es el mismo proceso que utilizan las plantas cuando captan el agua a través de las membranas de sus raíces, pero se aplica a la inversa en las desalinizadoras.[4]

El sistema de ósmosis inversa puede utilizarse para eliminar contaminantes del agua, reduciendo la concentración de nitritos y nitratos, o dentro del proceso de desalinización. Ahora también existen equipos de Osmosis Económicos.

- *Condensación de la humedad:* Aunque es un sistema caro y complicado, en situaciones extremas vale la pena utilizarlo (desiertos, sitios inaccesibles).

El agua se puede obtener con equipos móviles autónomos, o con sistemas más sencillos, la cantidad de agua obtenida también puede ser una limitante a su uso. [6]

El sistema es especialmente eficiente en lugares con humedades y temperaturas medias o altas. Esta solución tecnológica además de condensar la humedad presente en el aire, incorpora un avanzado sistema de filtración y tratamiento del agua mediante luz ultravioleta. [7]

- *Plantas depuradoras:* Las estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR) mejoran la calidad del agua a partir de aguas negras, mediante diferentes procedimientos físicos, químicos y biotecnológicos. El agua que se obtiene aunque no es potable, se puede utilizar para riego y otras aplicaciones industriales. [6]

- *Sistemas químicos:* Añadiendo productos químicos para desinfectar el agua, como el cloro (lejía) [6]. La desinfección con cloro es importante para prevenir la propagación de enfermedades que se originan en la fuente de agua, y también para evitar el crecimiento de bacterias y hongos. [8]

### *Importancia de la desalinización del agua.*

Desde tiempos inmemoriales el hombre ha mostrado un especial anhelo con la posibilidad de transformar en agua potable el agua del mar. Hay un dato revelador, el 75% de la población mundial vive a menos de 100 km del mar, lo que significa las posibilidades que nos puede suponer la desalación como alternativa a la escasez de agua potable.

Después de la II Guerra Mundial se comienzan a instalar las primeras desaladoras. Arabia Saudí y Kuwait donde el agua potable es un bien escaso, fueron los primeros países que instalaron plantas desaladoras. Sin embargo, es a partir de la década de los sesenta del siglo pasado cuando se desarrolló la ósmosis inversa. Sistema éste que ostenta la primacía internacional por su eficacia y alto rendimiento, en los procesos de desalinización en el mundo.

Obtener agua dulce del mar, es para todos la mayor esperanza tecnológica de que se resuelva las crisis hídricas que se avecinan. Gracias a la aplicación de la desalinización se han resuelto muchos y graves problemas, en la actualidad, se producen más de 36 millones de m<sup>3</sup> al día en todo el mundo, lo que es suficiente para abastecer a una población de 180 millones de habitantes, lo cual da una idea de la importancia de la desalinización.

Hasta hace poco, la desalinización sólo se ha empleado en circunstancias extremas debido al altísimo consumo de energía del proceso y en consecuencia, por su alto coste económico. La industria del tratamiento del agua es muy competitiva, se emplean varias técnicas como la ósmosis inversa, la destilación, el electro diálisis y la congelación en el vacío. Hoy solamente son viables comercialmente la ósmosis inversa y la destilación. [4]

### *Dinámica de fluidos computacional*

La dinámica de fluidos es una rama de la física relativamente reciente (comienzos del siglo XX), aunque los conceptos en los que se basa se remontan a la antigua Grecia, a los trabajos teóricos de Leonardo Da Vinci, y posteriormente al trabajo de un gran número de físicos como Torricelli, Euler, Bernoulli, etc.

La dinámica de fluidos estudia los movimientos de los fluidos (gases y líquidos), debido a la acción de fuerzas, o a su interacción con otros medios y con el contorno que los delimita. En realidad la dinámica de fluidos forma parte de un campo más amplio denominado mecánica de

fluidos, del cual derivan tanto la estática de fluidos (estudia los fluidos en reposo), como la dinámica de fluidos (estudia los fluidos en movimiento).

En la actualidad, la mecánica de fluidos es una parte esencial de muchas áreas de la tecnología y la ciencia actual, destacando su papel en el diseño de toda clase de vehículos (aviones, barcos, coches, etc), estudios del flujo de aire atmosférico, medicina y biología (flujo de sangre y otros fluidos), ingeniería industrial, etc. [2]

Hoy día, en muchos campos es imposible recurrir a soluciones analíticas debido a la tremenda complejidad de los sistemas que estudia la dinámica de fluidos, por lo que se recurre a soluciones numéricas que pueden ser computadas por ordenadores. Surge así una rama de la dinámica de fluidos denominada dinámica de fluidos computacionales, o CFD, que se basa en aproximaciones numéricas de las ecuaciones físicas empleadas en la dinámica de fluidos.

### *SolidWorks Flow simulation*

SolidWorks Flow Simulation utiliza el análisis de dinámica de fluidos computacional (CFD) para permitir una simulación rápida y eficaz del flujo de fluidos y de la transferencia de calor. Puede calcular fácilmente las fuerzas de fluidos y comprender el impacto de un líquido o gas en el rendimiento de un producto. CFD simula el paso de fluidos (líquidos o gases) a través de un objeto o a su alrededor. El análisis puede ser muy complejo; por ejemplo, puede contener en un cálculo transferencia de calor, mezclas, y flujos inestables y compresibles. La capacidad de predecir el impacto de dichos flujos en el rendimiento de producto puede resultar lenta y costosa si no se utiliza ningún tipo de herramienta de simulación. [9]

SolidWorks Flow Simulation ofrece una amplia variedad de modelos físicos y de funciones de flujos de fluidos, para de esta manera, obtener más información sobre el comportamiento del producto que es fundamental para lograr el éxito del diseño, cubriendo una amplia gama de aplicaciones, como por ejemplo:

- Flujo de líquido y gas con transferencia de calor
- Flujo de fluidos externo e interno
- Flujos laminares, turbulentos y de transición
- Flujo dependiente del tiempo
- Regímenes subsónicos, transónicos y supersónicos

- Mezcla de gas, mezcla de líquido
- Conjugación de la transferencia de calor
- Transferencia de calor en sólidos
- Líquido incompresible y compresible
- Gas compresible
- Gases reales
- Vapor de agua
- Fluidos no newtonianos (para simular sangre, miel, plásticos fundidos)

### Métodos empleados para cálculos en Flow Simulation

Como se mencionó anteriormente, SolidWorks Flow Simulation ofrece diferentes tipos de cálculos para fluidos. Las ecuaciones que rigen el movimiento de fluidos, son llamadas ecuaciones de Navier-Stokes. Las ecuaciones de Navier-Stokes reciben su nombre de Claude-Louis Navier y George Gabriel Stokes. Se trata de un conjunto de ecuaciones en derivadas parciales no lineales que describen el movimiento de un fluido. Estas ecuaciones gobiernan una gran variedad de fenómenos físicos complejos:

- Clima
- Corrientes oceánicas
- Aerodinámica
- Movimiento de estrellas

Estas ecuaciones se obtienen aplicando los principios de conservación de la mecánica y la termodinámica a un volumen fluido. Haciendo esto se obtiene la llamada formulación integral de las ecuaciones. Para llegar a su formulación diferencial se manipulan aplicando ciertas consideraciones, principalmente aquella en la que los esfuerzos tangenciales guardan una relación lineal con el gradiente de velocidad (ley de viscosidad de Newton), obteniendo de esta manera la formulación diferencial que generalmente es más útil para la resolución de los problemas que se plantean en la mecánica de fluidos. [12]

Como ya se ha dicho, las ecuaciones de Navier-Stokes son un conjunto de ecuaciones en derivadas parciales no lineales. No se dispone de una solución general para este conjunto de ecuaciones, y salvo ciertos tipos de flujo y situaciones muy concretas no es posible hallar una solución analítica; por lo que en muchas ocasiones es preciso recurrir al análisis numérico para

determinar una solución aproximada. A la rama de la mecánica de fluidos que se ocupa de la obtención de estas soluciones mediante métodos numéricos se la denomina dinámica de fluidos computacional (CFD, de su acrónimo anglosajón Computational Fluid Dynamics). [13]

Aplicando estas leyes dan lugar a las ecuaciones de Navier-Stokes

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho \left( \frac{\partial u_i}{\partial t} + u \cdot \nabla u_i \right) = - \frac{\partial p}{\partial x_i} + \nu \Delta u_i + f_\varepsilon^i, \\ \nabla \cdot u = 0, \\ \rho_t + u \cdot \nabla \rho = 0. \end{array} \right.$$

donde

- $u = (u_1, u_2, u_3)$ ,  $u_i = u_i(x_1, x_2, x_3, t)$  velocidad del fluido;
- $p = p(x_1, x_2, x_3, t)$  presión;
- $\rho = \rho(x_1, x_2, x_3, t)$  densidad;
- $\nu = cte \geq 0$  viscosidad;
- $f_\varepsilon = (f_\varepsilon^1, f_\varepsilon^2, f_\varepsilon^3)$  fuerza externa.

# **CAPÍTULO II**

# **DESARROLLO DEL**

# **PROYECTO**



A continuación se describe paso a paso el desarrollo de los prototipos 1 y 2, los métodos por los cuales se realizan y los resultados que se obtienen de las simulaciones por medio del programa SolidWorks-2014 con la herramienta Flow Simulation-2014.

## 2.1 Recibir capacitación

El primer punto de partida es conocer más a fondo el programa de SolidWorks, en esta primer etapa se comienza por realizar los dibujos del tutorial; esta actividad está programada para un tiempo de 3 semanas durante las 8 horas de trabajo diarias. Se practica en realizar piezas, ensambles, planos para dibujos y diferentes tipos de simulaciones, posteriormente comenzar a hacer las piezas de los prototipos.

Resultados a lograr:

- Realizar modelación CAD 3D de los componentes.
- Realizar Análisis de fluido (Determinación de parámetros de velocidad, presión, vórtices. y flujos volumétricos) con la herramienta computacional Flow Simulation.

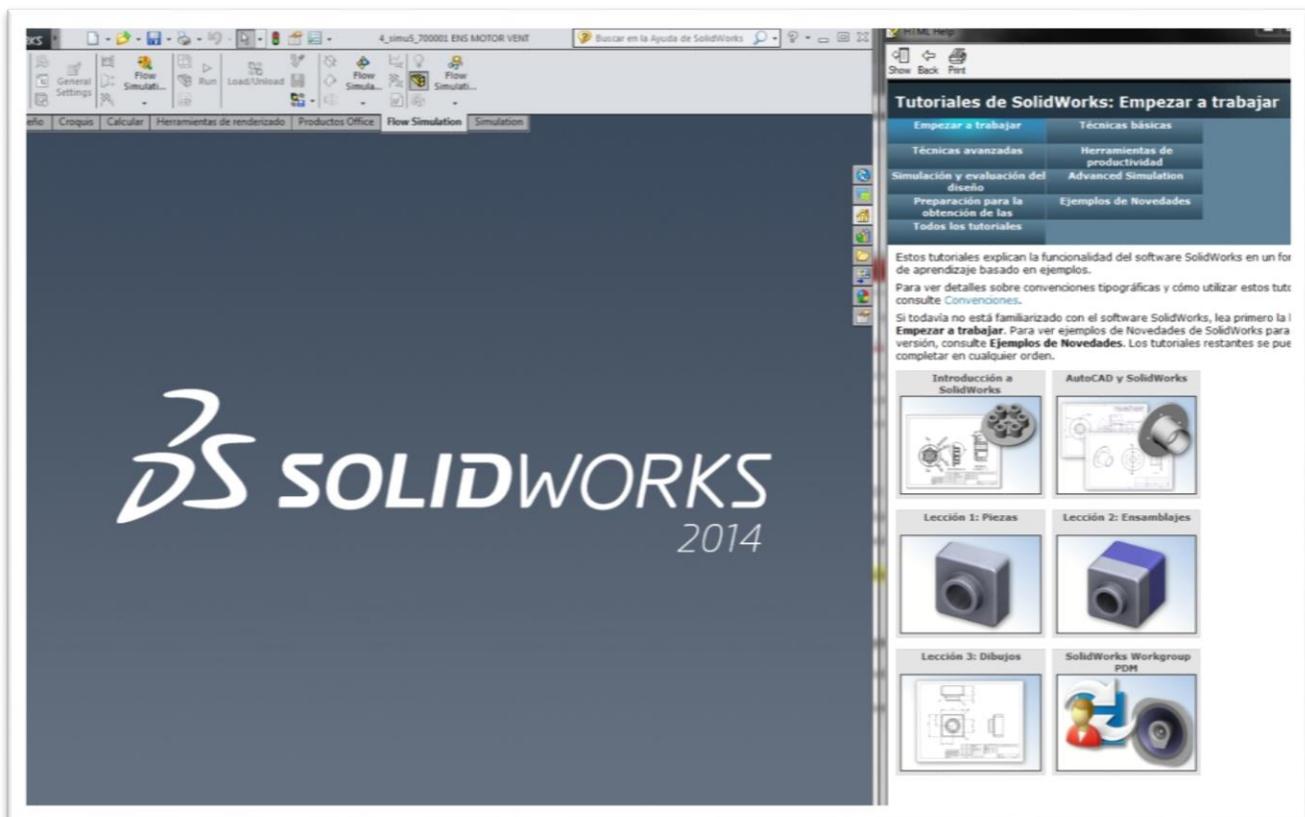


Imagen 3 Tutoriales de SolidWorks-2014.

## 2.2 Creación componentes de prototipo 1

Se comienza a trabajar con el diseño de los componentes del prototipo 1: Los componentes del prototipo mencionado son:

1. Abanico
2. Peine
3. Tapa de turbina
4. Cúpula de cono
5. Cuerpo del cono
6. Base del cono
7. Aspa del motor ventilador
8. Carcasa del motor ventilador
9. Motor ventilador
10. Soporte de turbina
11. Tapa del motor ventilador
12. Rejilla
13. Base del motor ventilador
14. Base del motor de tracción
15. Aro de fijación
16. Tina
17. Motor de tracción

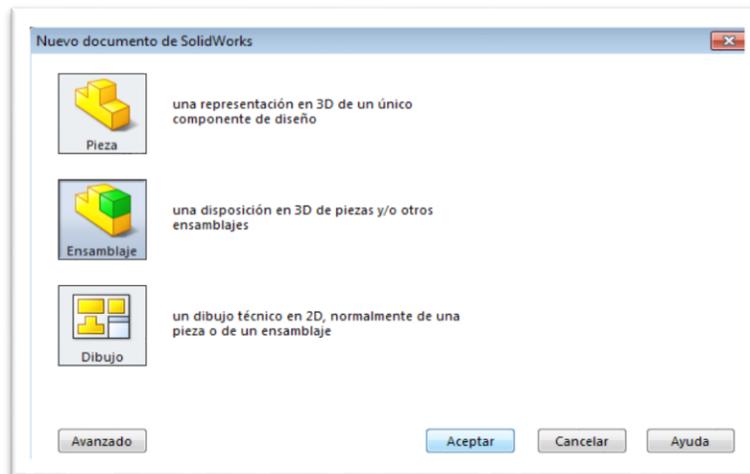
### ***Procedimiento obtención modelo CAD:***

A continuación se describe paso a paso el desarrollo de los componentes necesarios para el diseño del prototipo 1.

1. Se abre el programa Solid Works, se hace clic en nuevo, se selecciona pieza y aceptar;  
Imagen 4 e Imagen 5.

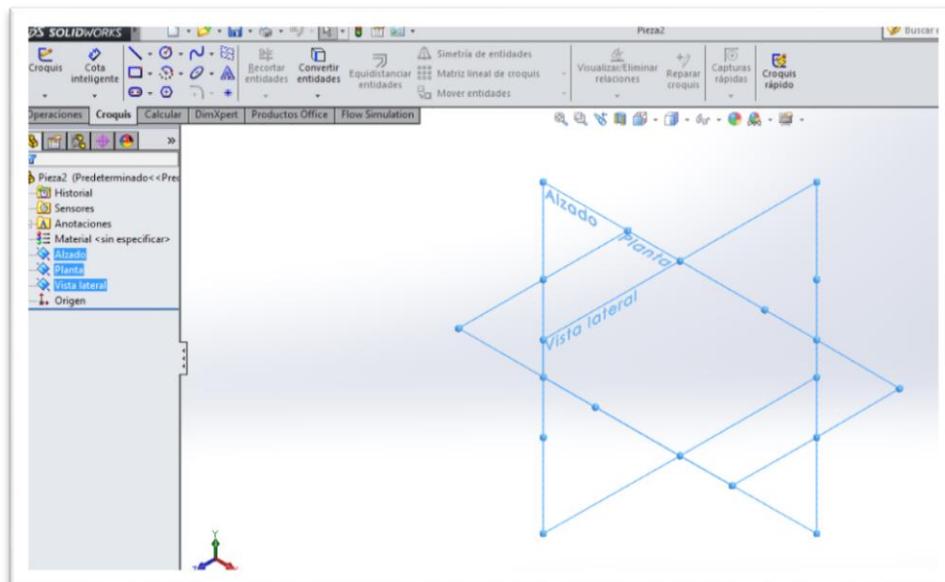


*Imagen 4 Ventana de inicio de SolidWorks.-2014*



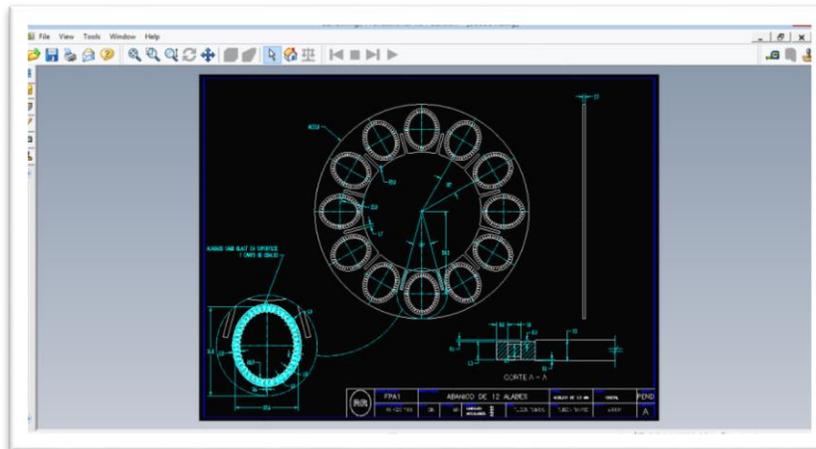
*Imagen 5 Ventana para selección de pieza, ensamble o dibujo.*

2. Se selecciona el plano que mejor se adapte para a trabajar, (alzado, planta o vista lateral).



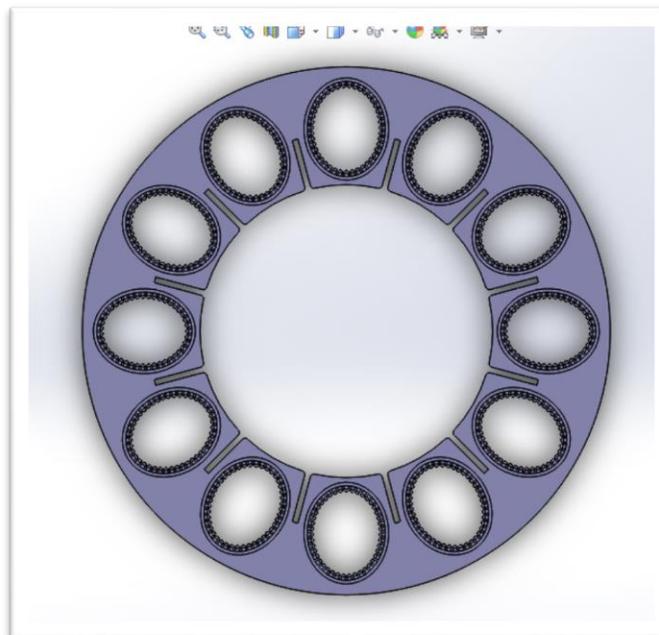
*Imagen 6 Espacio de trabajo de SolidWorks.*

3. Para obtener las dimensiones de los diferentes componentes se hace importación a solidworks-2014 mediante planos proporcionados en Autocad-2010, obteniéndose sus dimensiones. Posteriormente se crea el modelo CAD en 3D.



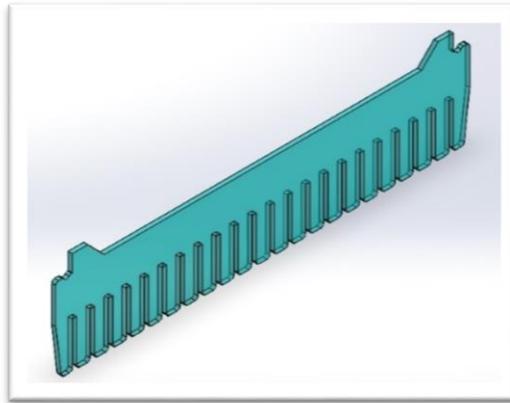
*Imagen 7 Ventana de trabajo de eDrawings profesional-2014.*

4. Primer componente: se comienza con el abanico, se caracteriza por tener óvalos, dientes y ranuras como se muestra en la Imagen 8. Aquí se forma la burbuja que provoca la separación de la sal del agua.



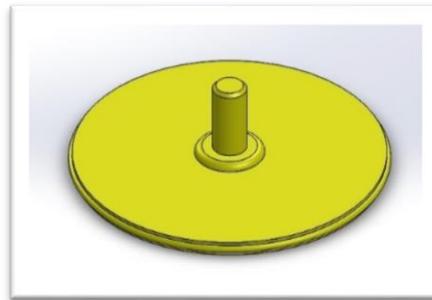
*Imagen 8 Abanico.*

5. Realización del peine: Se dibujan las ranuras para que puedan sostener los abanicos, mostrado en la Imagen 9.



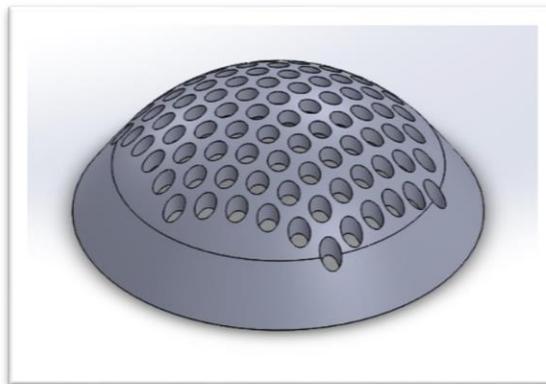
*Imagen 9 Peine.*

6. Se realizan los demás componentes para el prototipo 1, como se describe a continuación:  
Realización de la tapa de turbina para la sujeción de los peines con los abanicos.



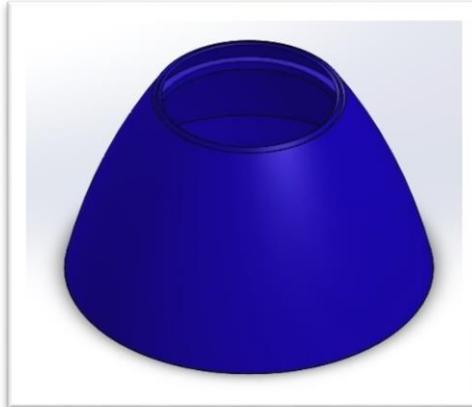
*Imagen 10 Tapa de turbina.*

Cúpula de cono para la entrada de aire en la turbina del ventilador.



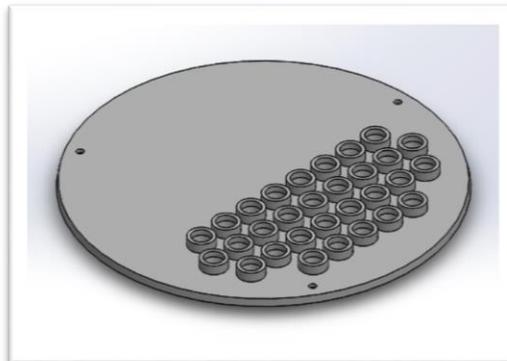
*Imagen 11 Cúpula de cono.*

Realización del cuerpo del cono.



*Imagen 12 Cuerpo del cono.*

Realización de la base del cono, por donde pasa el aire que expulsa el ventilador.



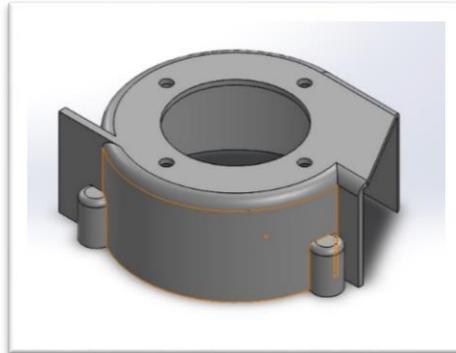
*Imagen 13 Base del cono.*

Aspas de alabes curvados hacia adelante usados en el ventilador.



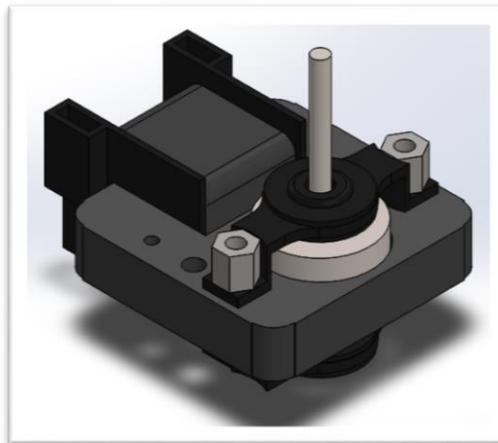
*Imagen 14 Aspa del motor ventilador.*

Carcasa para las aspas del motor ventilador.



*Imagen 15 Carcasa del motor ventilador.*

Motor para el ventilador de 2100 RPM.



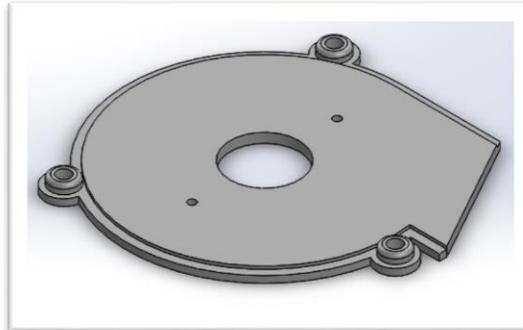
*Imagen 16 Motor ventilador.*

Soporte para el ensamble de los peines y los abanicos.



*Imagen 17 Soporte de turbina.*

Tapa inferior del motor ventilador.



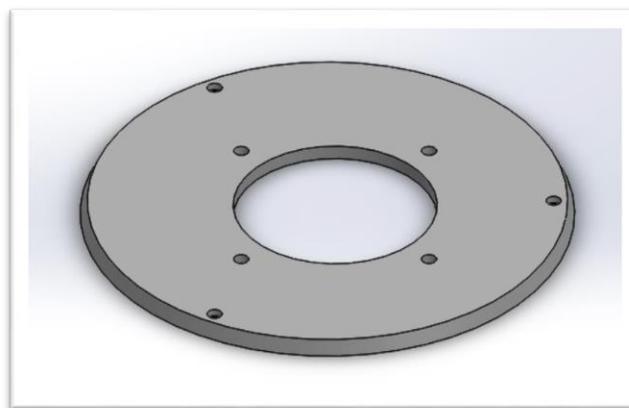
*Imagen 18 Tapa del motor ventilador.*

Rejilla para salida de aire del prototipo 1.



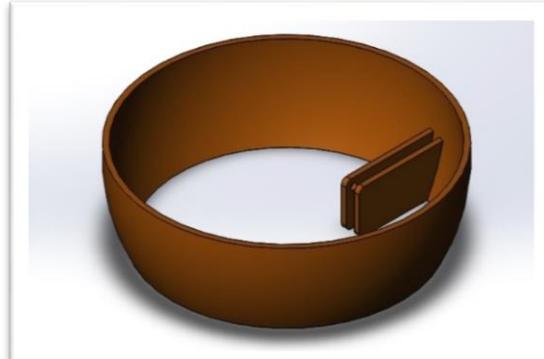
*Imagen 19 Rejilla.*

Base del motor ventilador para la unión del motor ventilador y el cuerpo del cono.



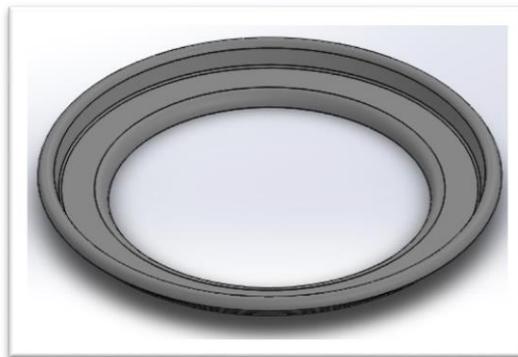
*Imagen 20 Base del motor ventilador.*

Base de sujeción para el motor de tracción.



*Imagen 21 Base del motor de tracción.*

Aro de fijación entre la rejilla y base del motor de tracción.



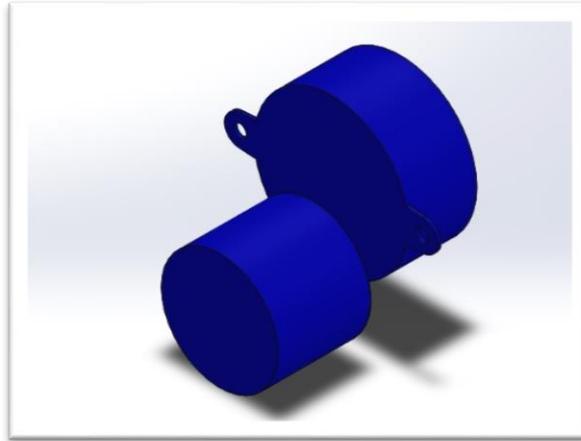
*Imagen 22 Aro de fijación.*

Tina de contención para el agua salada.



*Imagen 23 Tina.*

Motor de tracción para el giro del tambor con los peines y los abanicos, (RPM de 32 a 36).

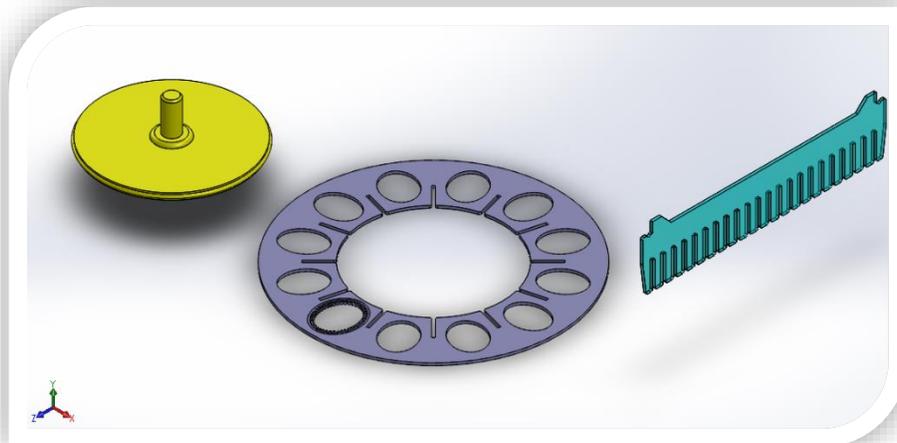


*Imagen 24 Motor de tracción.*

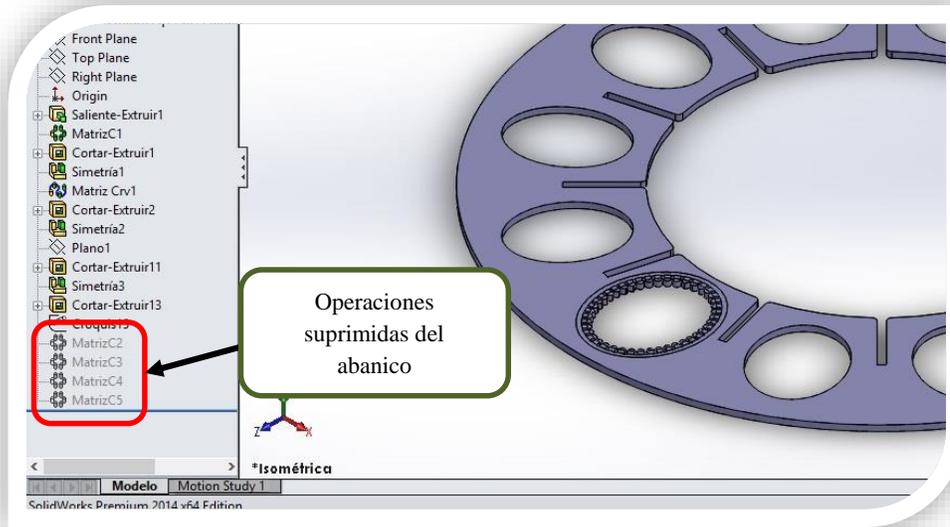
### **2.3 Creación ensamble de prototipo 1**

Descripción de cómo se realiza el ensamble del prototipo 1.

1. Se insertan los componentes a ensamblar como se muestra en la Imagen 25.



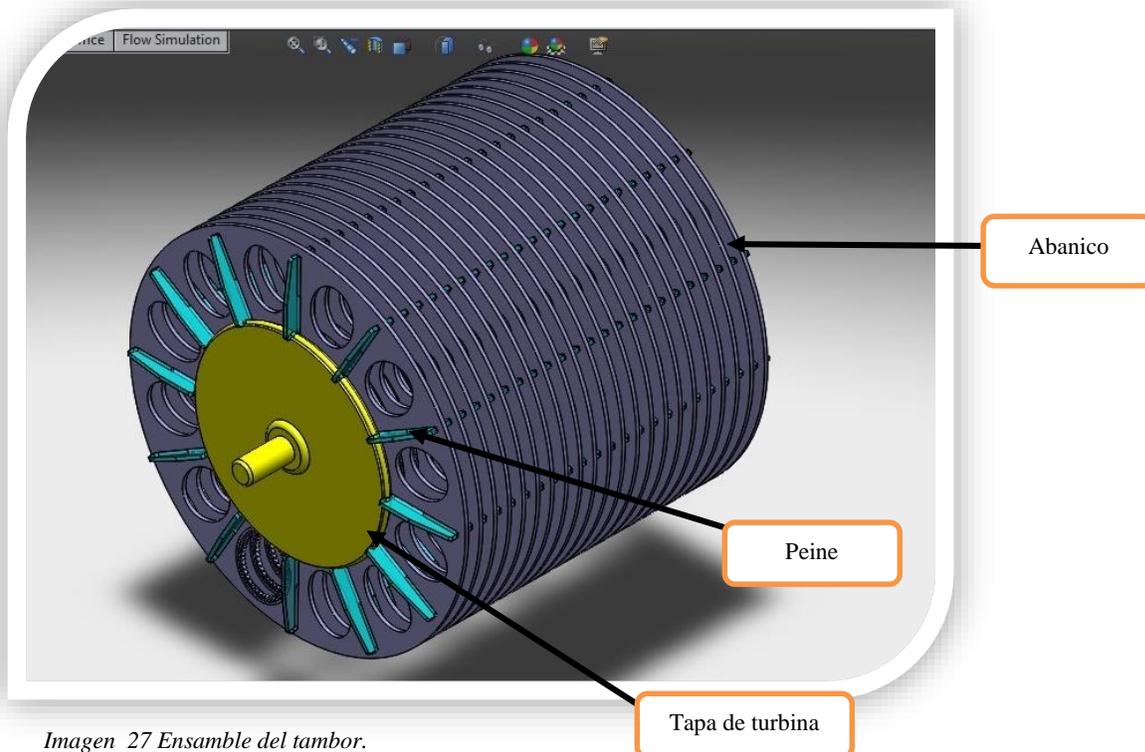
*Imagen 25 Componentes para el tambor.*



*Imagen 26 Operaciones del abanico.*

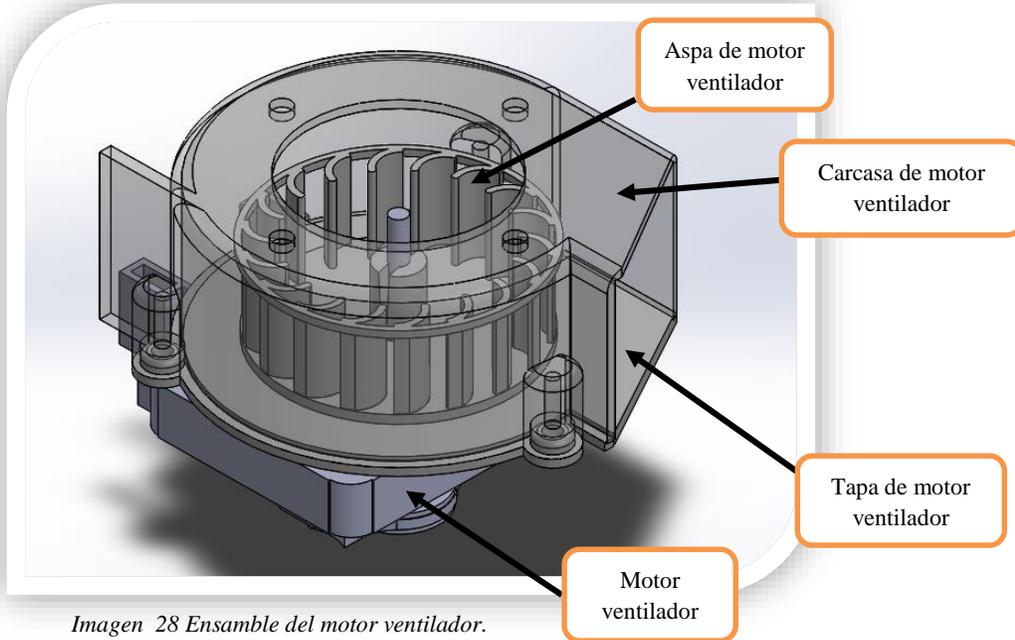
Se suprimen unas operaciones del abanico para aligerar el ensamblaje.

Se ensamblan estas 3 partes y posteriormente se realiza una matriz de 22 piezas del abanico y de igual forma una matriz para los peines de 12 piezas como se muestra en la Imagen 27.



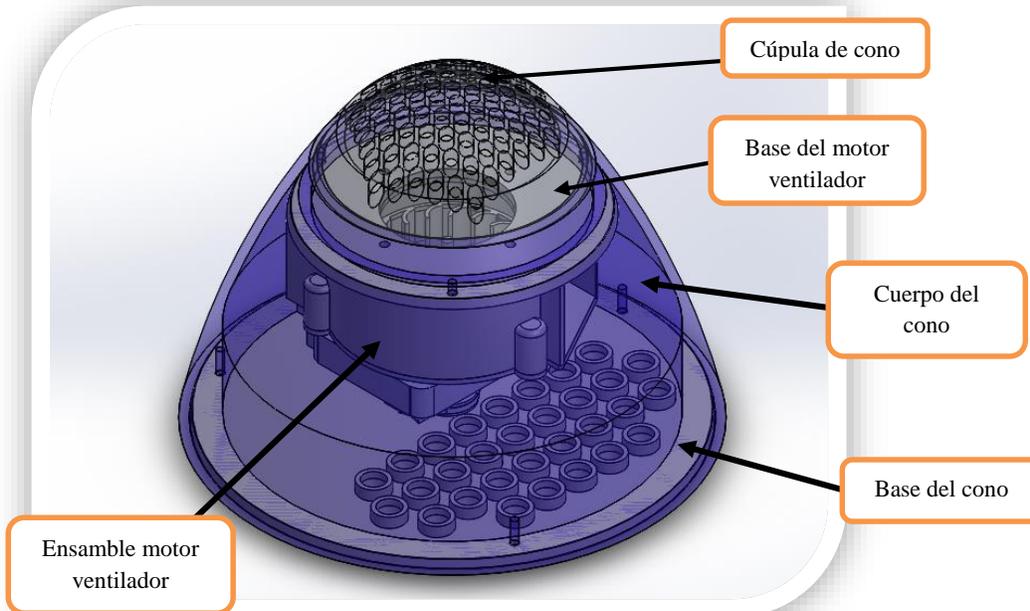
*Imagen 27 Ensamble del tambor.*

2. Se insertan los componentes para el motor ventilador.



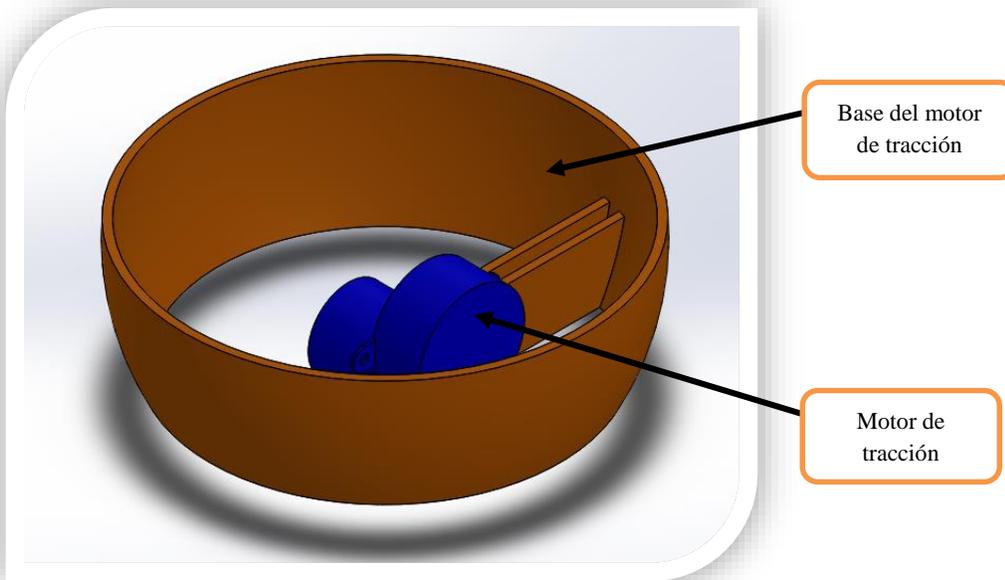
*Imagen 28 Ensamble del motor ventilador.*

3. Continuamos con el ensamblaje de la cúpula, en la cual se coloca el motor ventilador con los demás elementos de la cúpula.



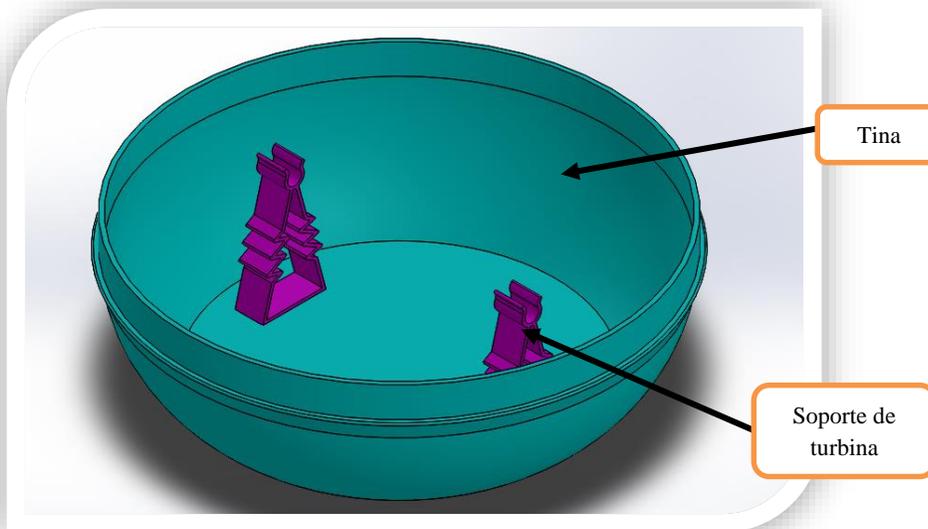
*Imagen 29 Ensamble de cúpula.*

4. Ensamble del motor de tracción.



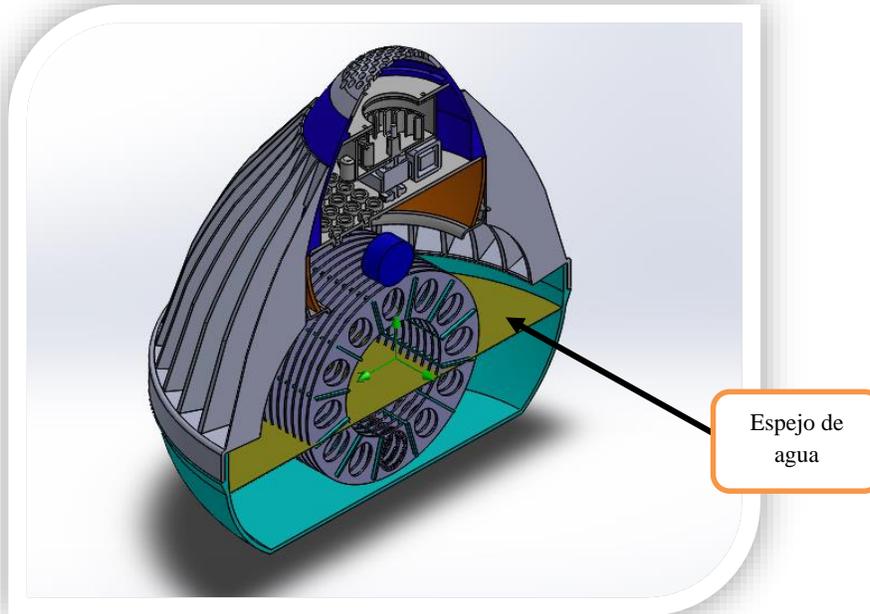
*Imagen 30 Ensamble del motor de tracción.*

5. Ensamble de la tina, donde se almacena el agua salada.



*Imagen 31 Ensamble de tina.*

6. Posteriormente se ensamblan estos 5 sub-ensamblajes en uno solo para concluir con el desalinizador, además se inserta un elemento en la tina, este representa al espejo de agua para marcar el límite a donde llegará el aire.

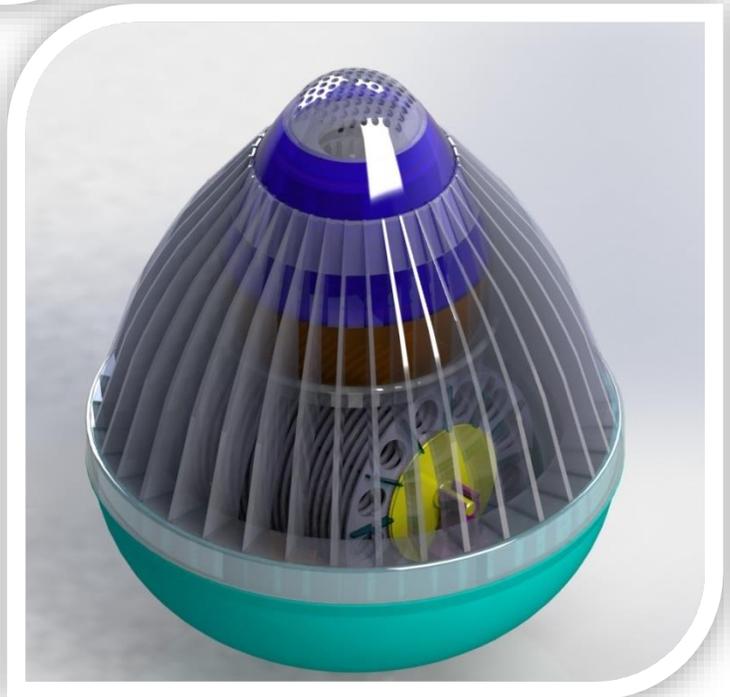


*Imagen 32 Ensamblaje final desalinizador.*

Después de realizar todos estos pasos el ensamble del prototipo 1 queda como se muestra en Imagen 33 e Imagen 34, con esto se empieza a utilizar la herramienta de apoyo SolidWorks Flow Simulation para realizar los análisis y así determinar los estudios de fluido y optimización de parámetros.



*Imagen 33 Renderizado del desalinizador prototipo 1.*



*Imagen 34 Renderizado del desalinizador con transparencia prototipo 1.*

## 2.4 Creación componentes de prototipo 2

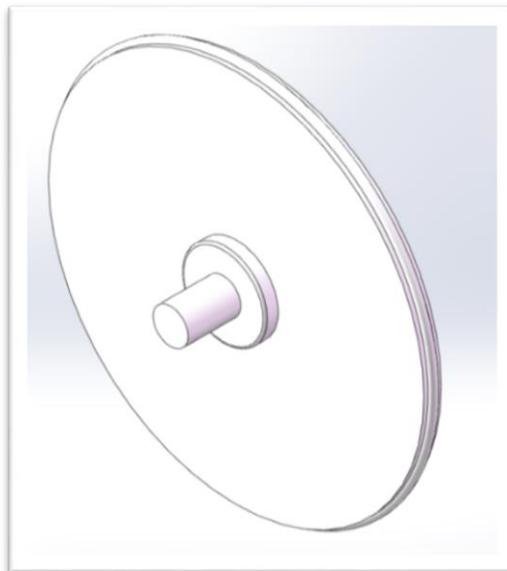
Se comienza a trabajar con el diseño de los componentes del prototipo 2:

Los componentes del prototipo mencionado son:

1. Tapa de abanico
2. Soporte motor
3. Peine
4. Motor
5. Contenedor superior
6. Contenedor inferior
7. Deflector interior
8. Cubierta superior
9. Chumacera
10. Abanico
11. Rueda dentada
12. Carcasa ventilador
13. Impulsor ventilador

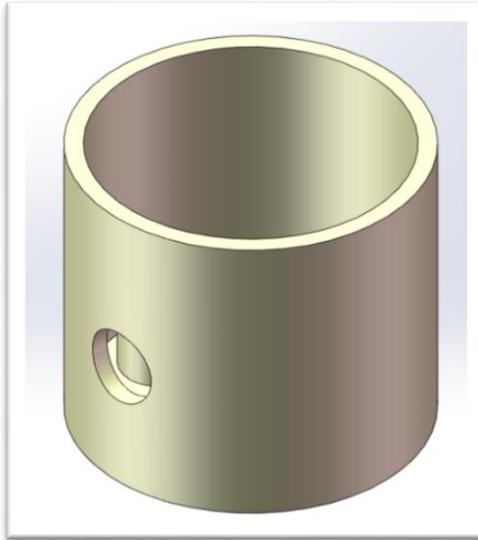
A continuación se describe paso a paso como se desarrollan los componentes necesarios para el prototipo 2.

1. Realización de tapa de abanico, esta sostiene los peines y los abanicos.



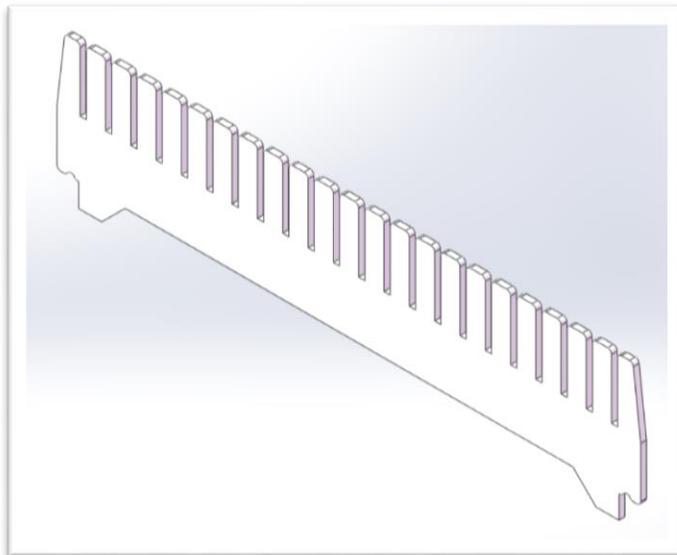
*Imagen 35 Tapa de abanico.*

2. Realización de soporte de motor



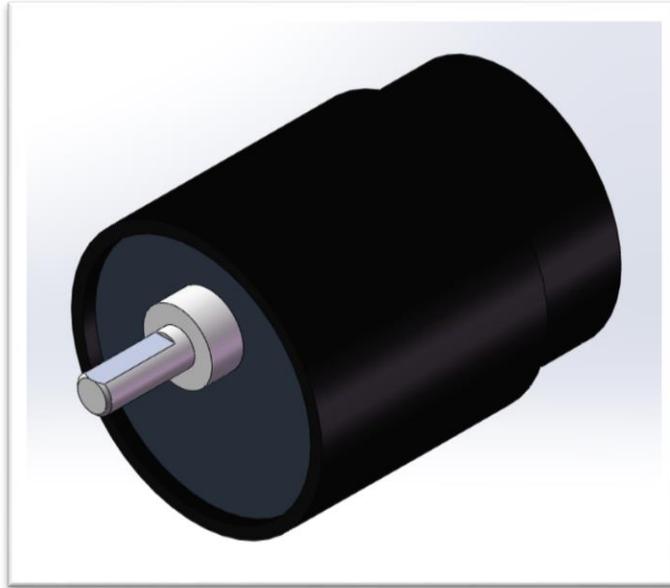
*Imagen 36 Soporte de motor.*

3. Peine: Se tienen las ranuras para alojamiento de los abanicos, mostrado en la Imagen 37.



*Imagen 37 Peine.*

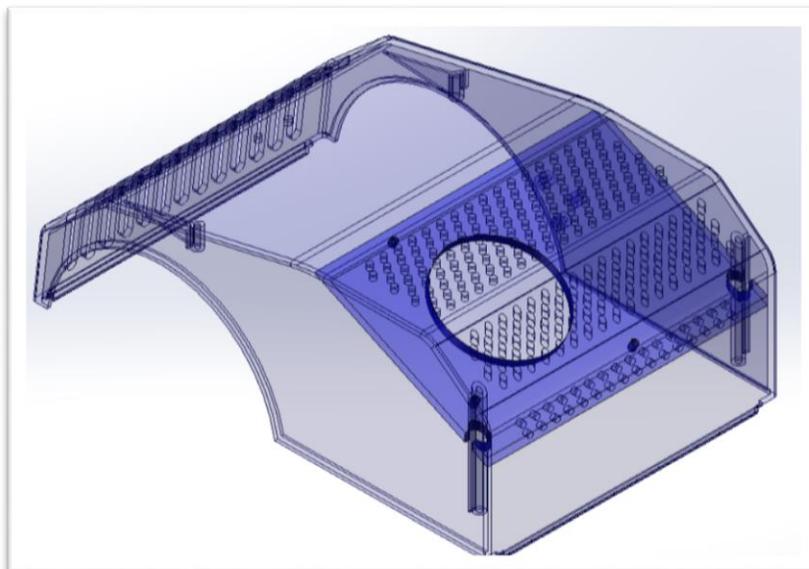
4. Creación de motor que servirá para hacer girar al tambor con los peines y abanicos (36 RPM salida).



*Imagen 38 Motor.*

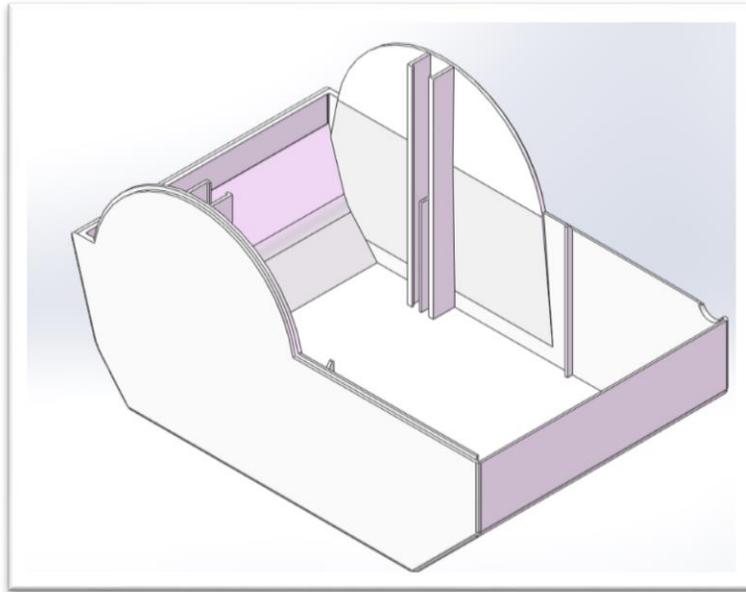
5. Se realizan los demás componentes del prototipo como se describen a continuación:

Contenedor superior: presenta orificios para succión de aire, además el ventilador es sostenido en la parte interior (ver Imagen 48).



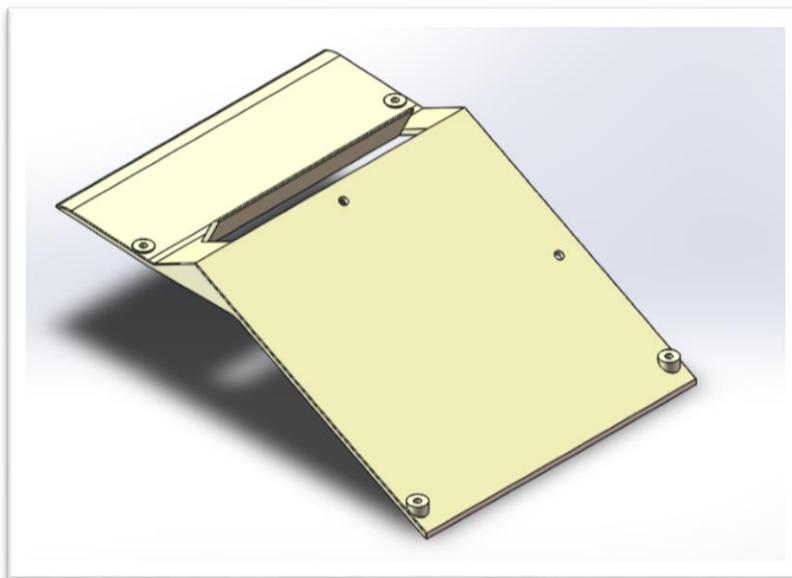
*Imagen 39 Contenedor superior.*

Contenedor inferior, este sirve como reten de agua salada y soporte del ensamble de tambor.



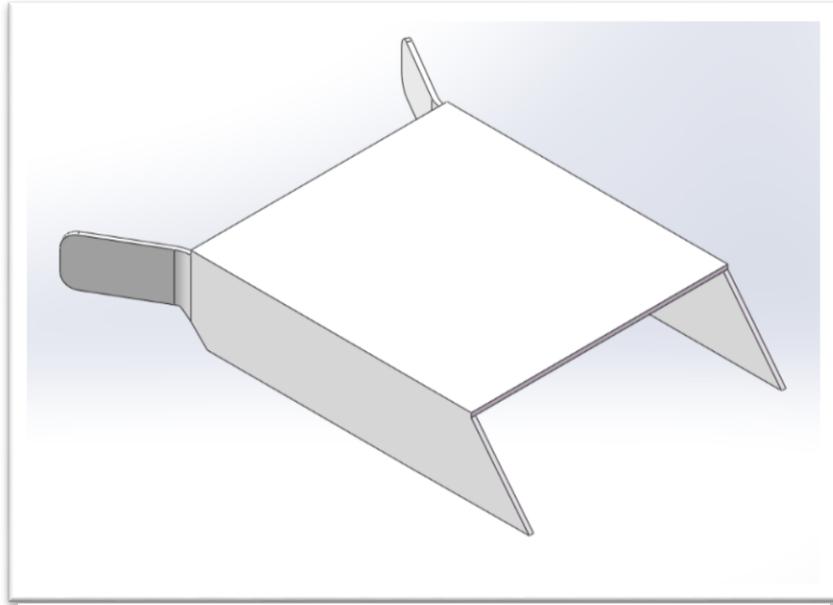
*Imagen 40 Contenedor inferior.*

Deflector interior, su función es dirigir el flujo de aire.



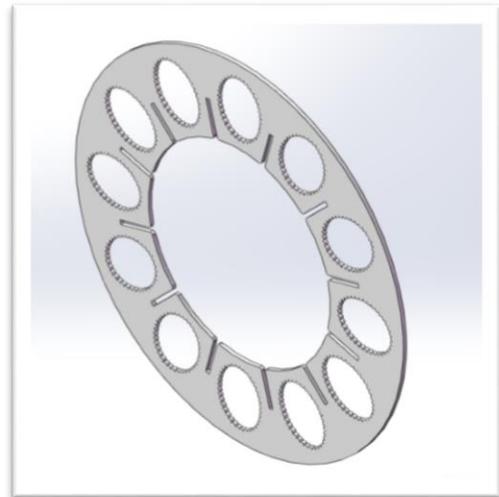
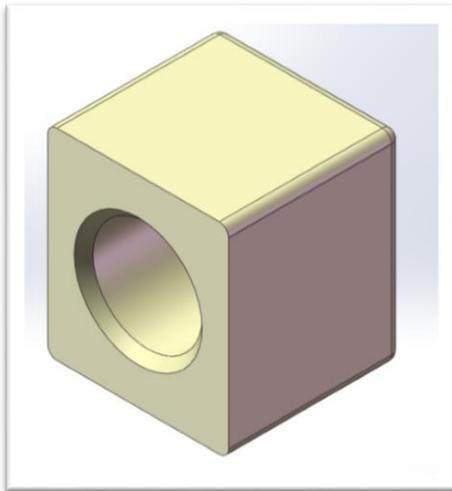
*Imagen 41 Deflector interior.*

Cubierta superior.



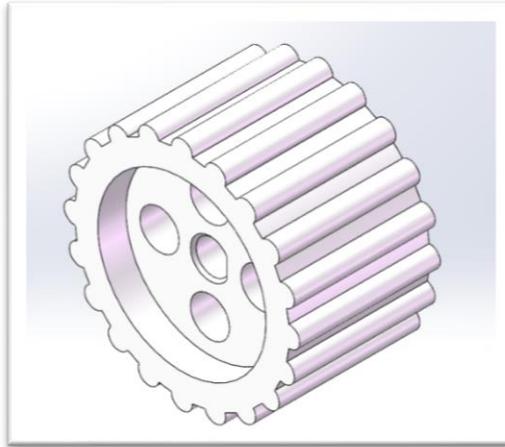
*Imagen 42 Cubierta superior.*

Chumacera y abanico, partes del ensamble de tambor.

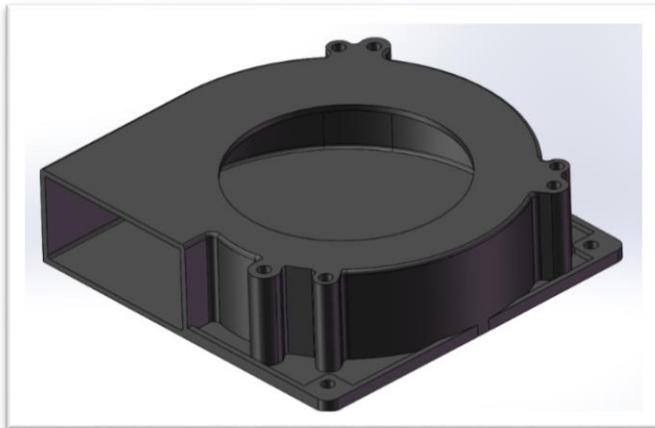


*Imagen 43 Chumacera y abanico.*

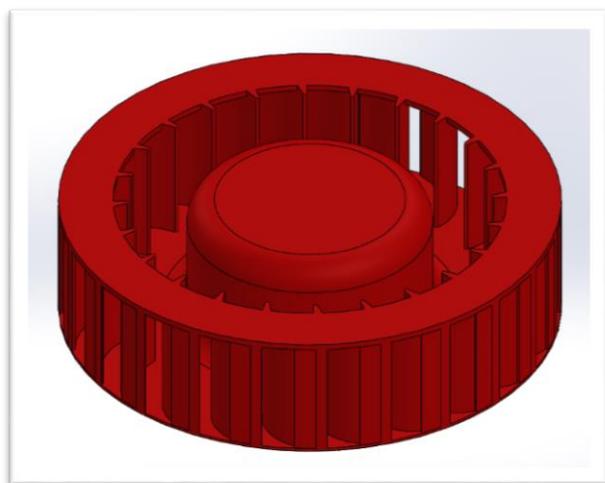
Rueda dentada para hacer girar al tambor con los discos; carcasa del ventilador e impulsor.



*Imagen 44 Rueda dentada.*



*Imagen 45 Carcasa del ventilador.*

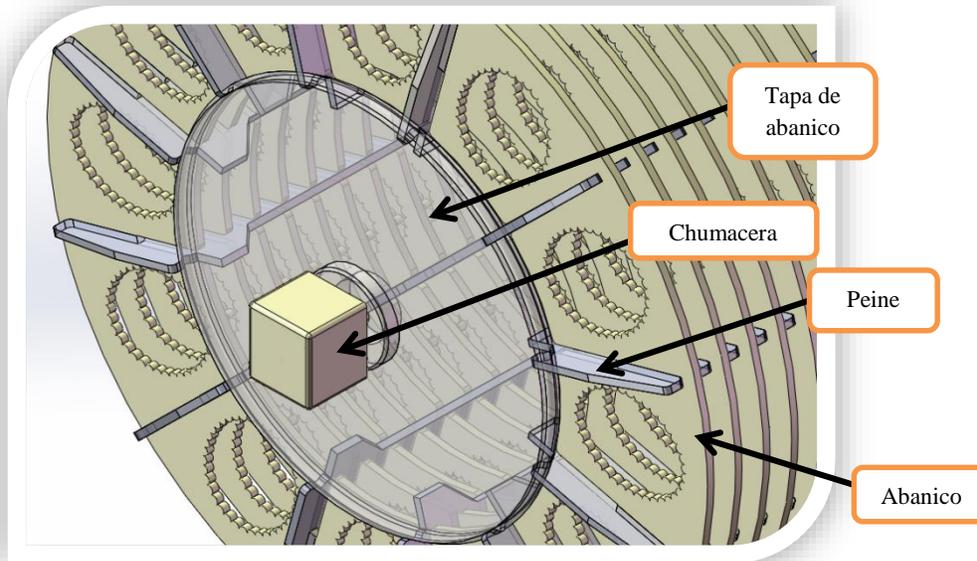


*Imagen 46 Impulsor ventilador.*

## 2.5 Creación ensamble de prototipo 2

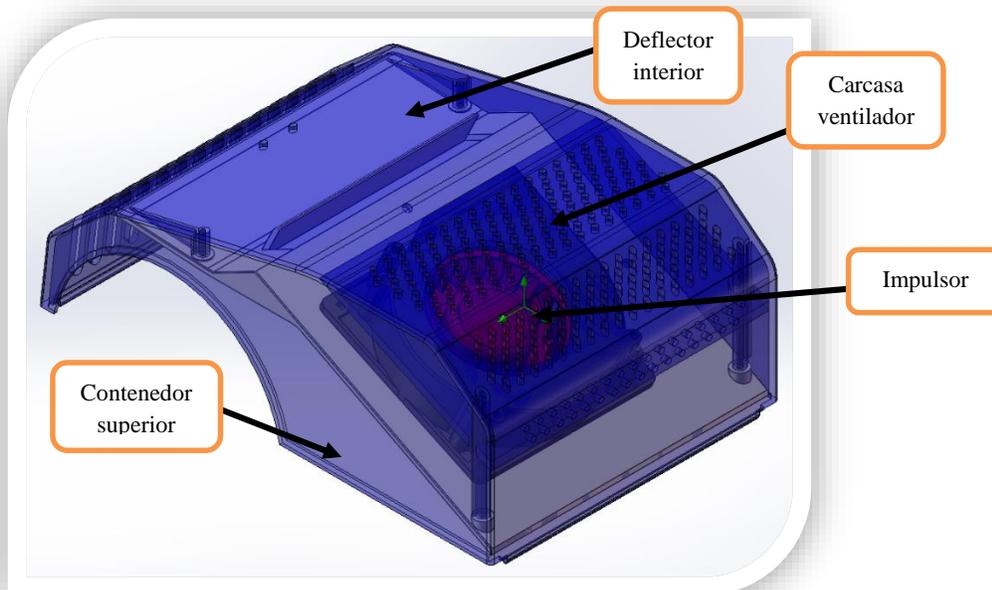
Descripción de cómo se realiza el ensamble del prototipo 2.

1. Se insertan los componentes para el ensamble del tambor, los componentes a saber son: Tapa de abanico, Chumacera, peine y abanico; el ensamble quedaría de la forma mostrada. (Imagen 47).



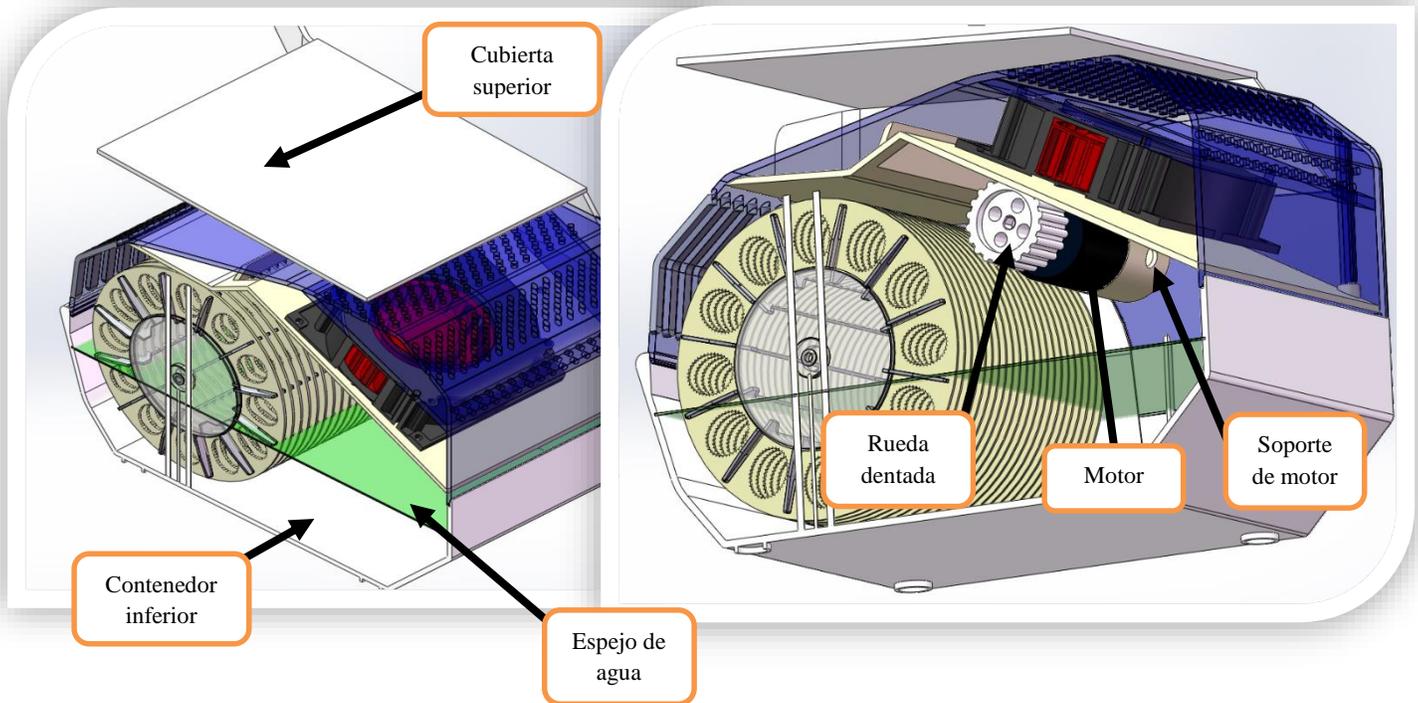
*Imagen 47 Ensamble de tambor.*

2. Se insertan los componentes para el ensamble de la cubierta superior.



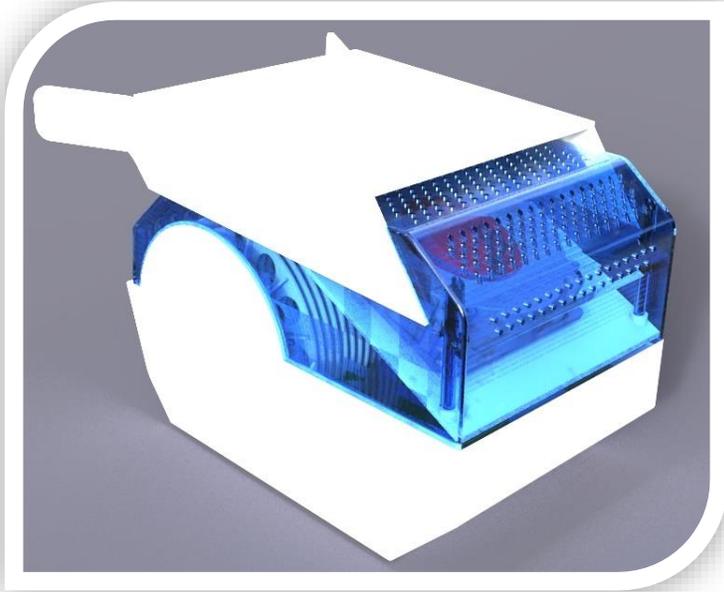
*Imagen 48 Ensamble de cubierta superior.*

3. Por último se procede a realizar el ensamble general del prototipo 2 usando los dos sub-ensamblajes anteriores; además se realiza un espejo de agua que servirá como límite para el aire cuando pase por el ensamble.

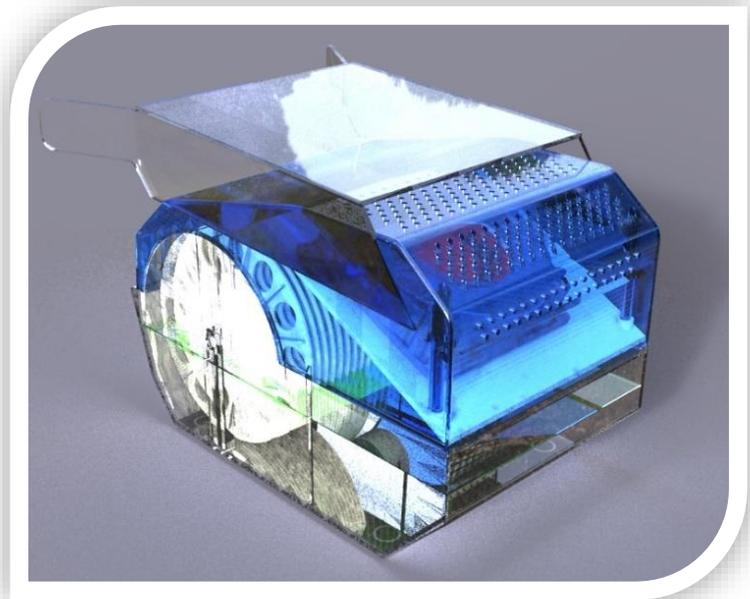


*Imagen 49 Ensamble general prototipo 2.*

Después de realizar todos estos pasos el ensamble del prototipo 2 queda como se muestra en Imagen 50 e Imagen 51, con esto se empieza a utilizar la herramienta de apoyo SolidWorks Flow Simulation para realizar los análisis y así determinar los estudios de fluido y optimización de parámetros.

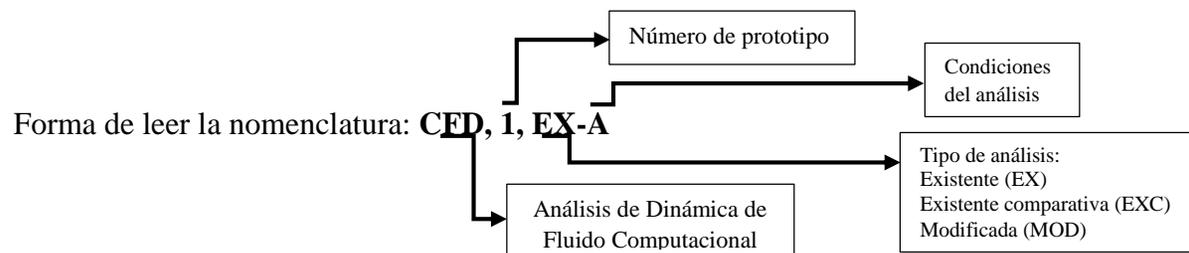
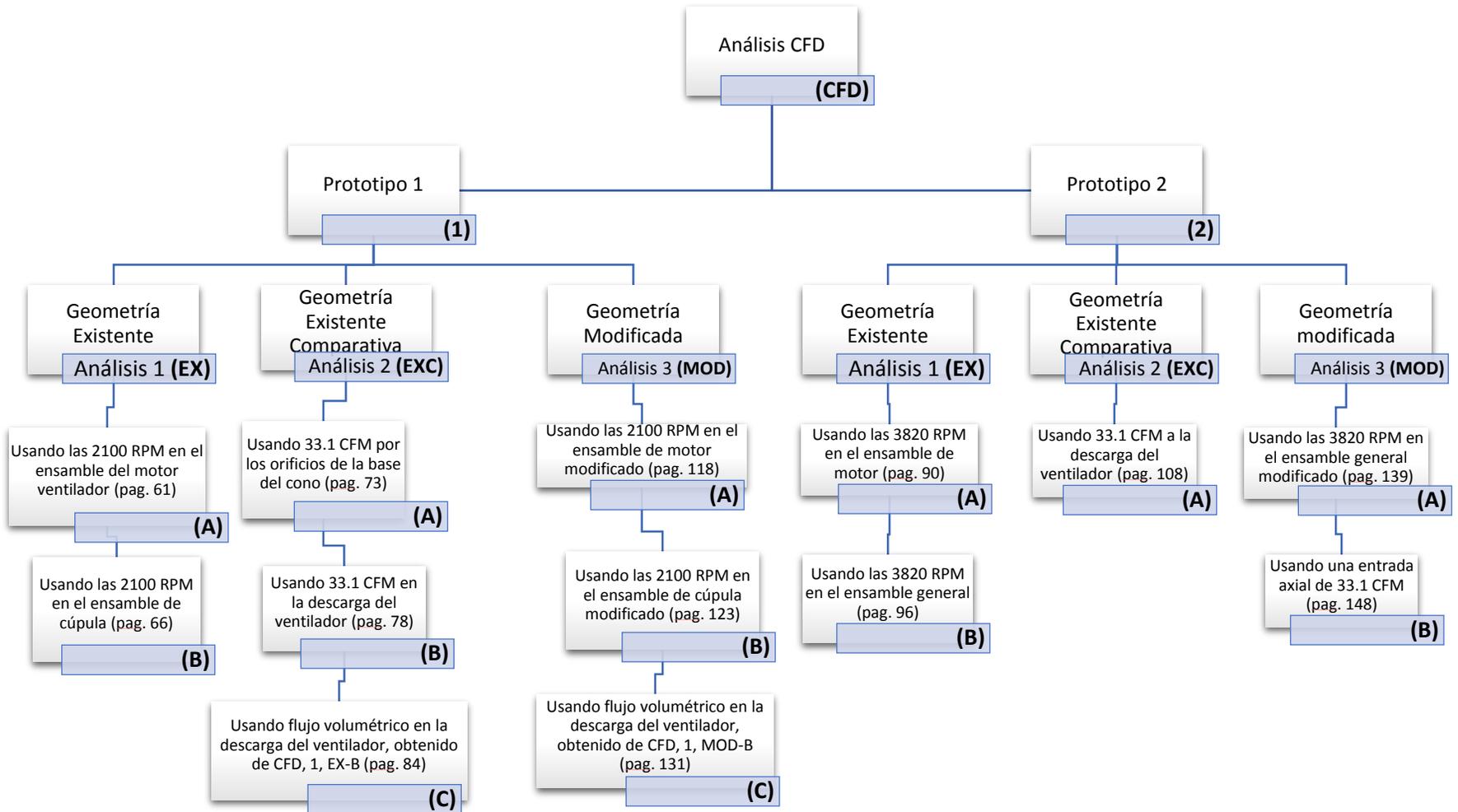


*Imagen 50 Renderizado del desalinizador, prototipo 2.*



*Imagen 51 Renderizado del desalinizador con transparencia, prototipo 2.*

El siguiente mapa conceptual representa los análisis planeados a los prototipos 1 y 2 de una manera sintetizada.



## 2.6 Caracterización de flujo en prototipo 1

En este apartado se conoce la herramienta Flow Simulation-2014 que ayuda a realizar los análisis de fluido y determinar su comportamiento sobre los prototipos. Esta herramienta es de gran utilidad ya que permite visualizar la distribución de la velocidad del aire dentro del dispositivo, efectos sobre niveles de presión, flujos volumétricos y vórtices.

Las simulaciones del prototipo 1 se definen de la siguiente manera:

➤ **Análisis 1, prototipo 1:**

- A) Análisis de fluido considerando la geometría existente utilizando como condición inicial las 2100 RPM nominales del motor para determinar velocidades y flujo volumétrico del aire a la salida del ensamble del motor ventilador. (CFD, 1, EX-A)
- B) Análisis de fluido considerando geometría existente utilizando como condición inicial las 2100 RPM nominales del motor para determinar velocidades de salida, flujo volumétrico y distribución de presiones en el ensamble de cúpula. (CFD, 1, EX-B)

➤ **Análisis 2, prototipo 1:**

- A) Análisis de fluido considerando geometría existente comparativa proponiendo el flujo volumétrico ideal de **33.1 CFM** por los orificios de la base del cono, para determinar las velocidades del aire en el tambor, distribución de presiones y vórtices. (CFD, 1, EXC-A)
- B) Análisis de fluido considerando geometría existente comparativa proponiendo el flujo volumétrico ideal de **33.1 CFM** en la descarga del ventilador, para determinar las velocidades del aire en el tambor, distribución de presiones y vórtices. (CFD, 1, EXC-B)
- C) Análisis de fluido considerando geometría existente comparativa proponiendo el flujo volumétrico obtenido de análisis 1, prototipo 1-B) en la descarga del ventilador para determinar velocidades de salida, distribución de presiones y vórtices en el ensamble general. (CFD, 1, EXC-C)

A continuación se describe de manera general como se comienza el análisis del prototipo 1:

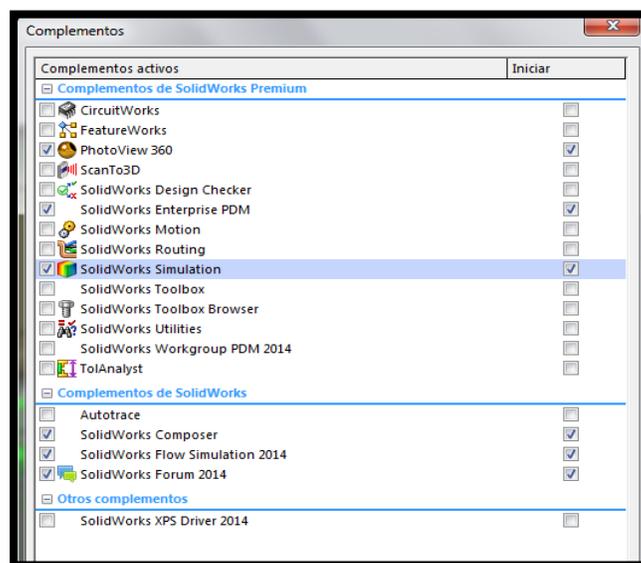
- a) Se examina que el prototipo se encuentre ensamblado sin interferencias.
- b) Se selecciona el sistema de unidades internacional, de igual forma el tipo de estudio a realizar en forma interna y que analice todas las partes del prototipo.
- c) Se selecciona el aire como el fluido en el dominio.
- d) Posteriormente se agrega si se requieren condiciones iniciales o estándares en parámetros tales como la velocidad, presión, etc.
- e) Acto seguido, se asigna la resolución del mallado.
- f) Se inicia el solucionador.
- g) Interpretación de resultados.
- h) Búsqueda de mejora y optimización de parámetros.

Descripción detallada de cómo empezar los análisis.

1. Se verifica si se tiene activo Flow Simulation (Imagen 52), de lo contrario se puede activar en opciones >complementos; luego se selecciona para utilizarlo, como se muestra en la Imagen 53.



*Imagen 52 Pestaña para Flow Simulaion.*



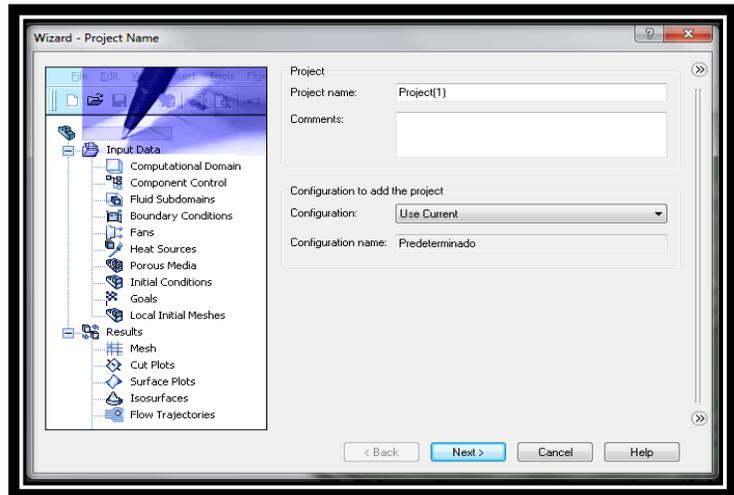
*Imagen 53 Activación de Flow Simulation.*

- Se comienza a trabajar en WIZARD para empezar a ingresar parámetros y realizar el estudio, como muestra en la Imagen 54.



*Imagen 54 Asistente Wizard.*

- Se puede asignar cualquier nombre al proyecto, ya sea el nombre del ensamble o alguna otra referencia.



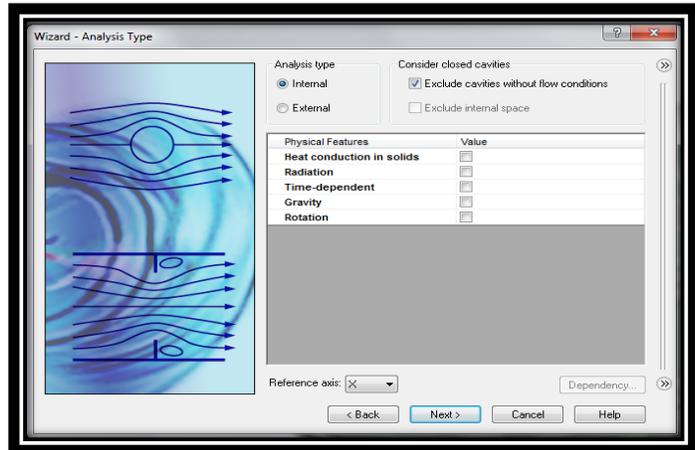
*Imagen 55 Asignación del nombre del proyecto.*

- Al seleccionar el sistema de unidades se tiene diferentes opciones con las cuales trabajar, uno de los más utilizados es el sistema internacional (SI).



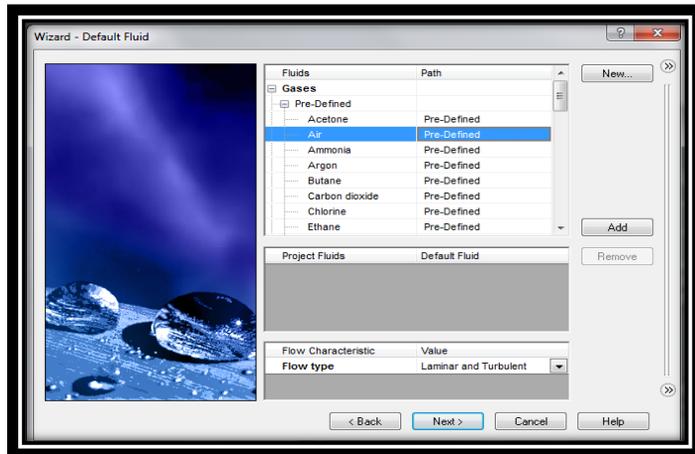
*Imagen 56 Selección del sistema de unidades a trabajar.*

- La opción siguiente da elegir si el análisis será interno o externo, además se tiene la opción de seleccionar si se requiere alguna característica física en específica, como: conducción de calor en sólidos, radiación, dependencia del tiempo, gravedad o rotación.



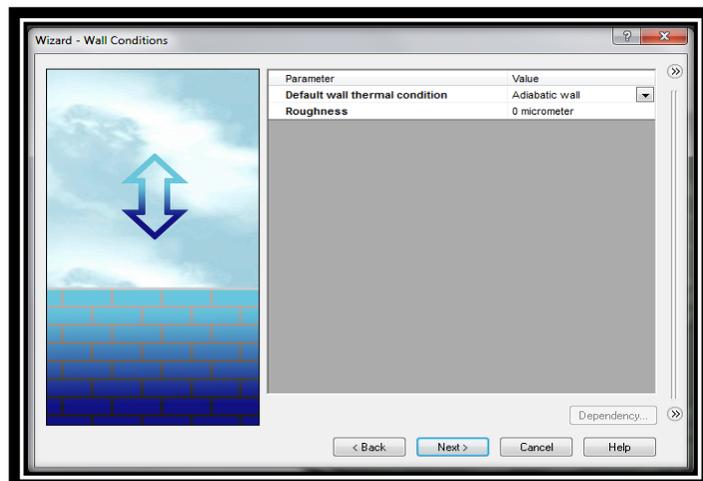
*Imagen 57 Tipo de estudio (intero/externo).*

- En esta ventana se tienen varios gases y líquidos; para este análisis se elige como fluido de trabajo aire.



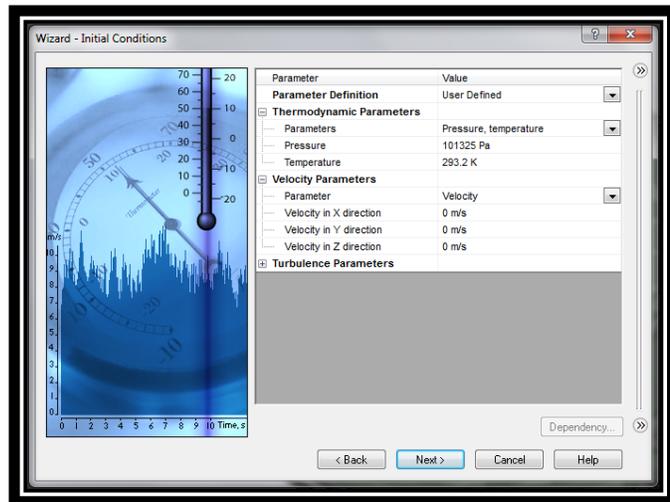
*Imagen 58 Ventana para asignar le tipo de fluido.*

- Se establecen las condiciones para las paredes del ensamblaje, si son adiabáticos o la rugosidad.



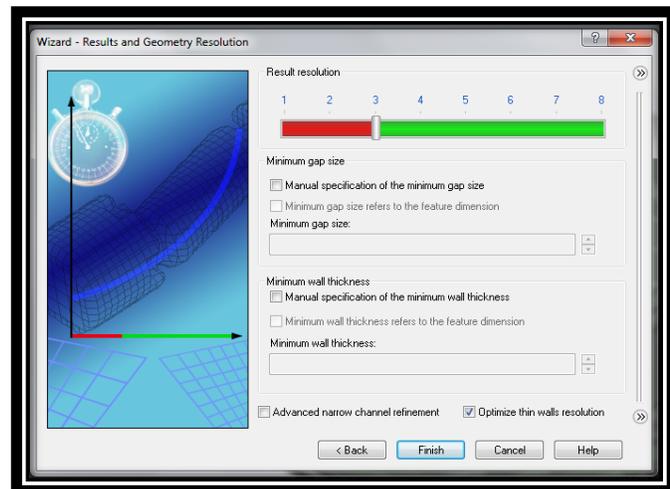
*Imagen 59 Condicones para las paeredes del ensamble.*

8. En este apartado se agregan las condiciones de temperatura, velocidad en una dirección específica, etc.



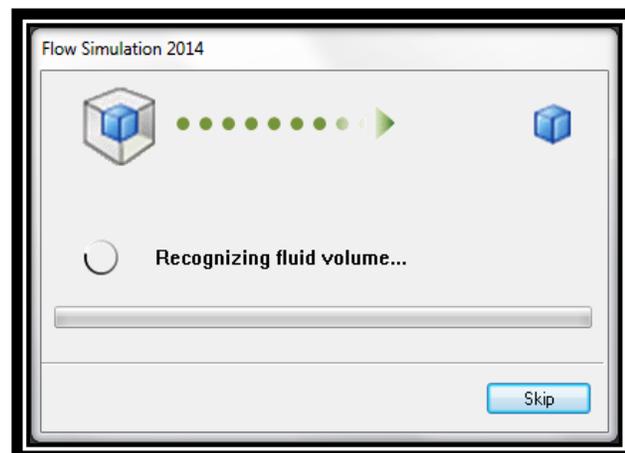
*Imagen 60 Condiciones de temperatura, velocidad o temperatura.*

9. Posteriormente se determina la resolución del mallado, entre más pequeña sea la malla el programa de análisis termina más rápido; de igual manera este cálculo se vuelve menos preciso a medida que se disminuye el mallado; para cuestiones generales siempre es conveniente el mallado estándar de resolución 3.



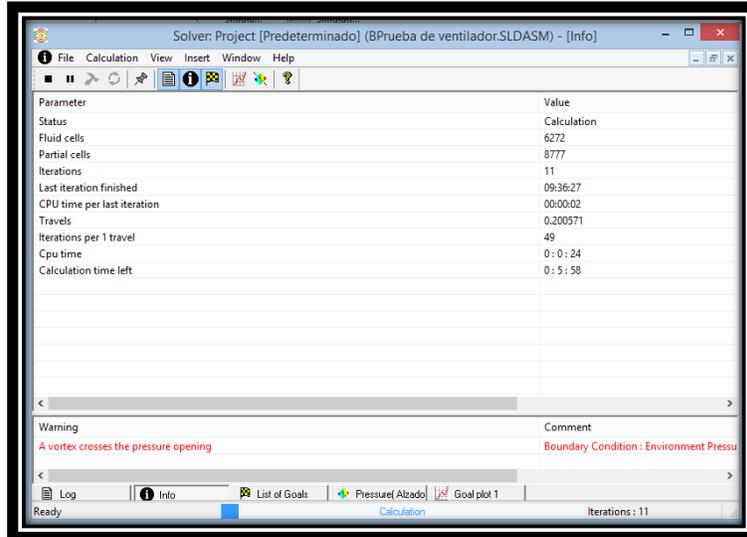
*Imagen 61 Selección del tipo de mallado para el analisis.*

10. Se hace reconocimiento de volumen y se le revisa la geometría, la Imagen 62 muestra el reconocimiento de fluido, su función es determinar si el diseño se encuentre sellado y que no tenga alguna interferencia.



*Imagen 62 Reconocimiento del fluido.*

Estos pasos son realizados para cada análisis planeado para este prototipo. Una vez que programa comienza a calcular arroja una pantalla para mostrar el progreso del análisis y una aproximación del tiempo de cálculo.



*Imagen 63 Progreso de analisis.*



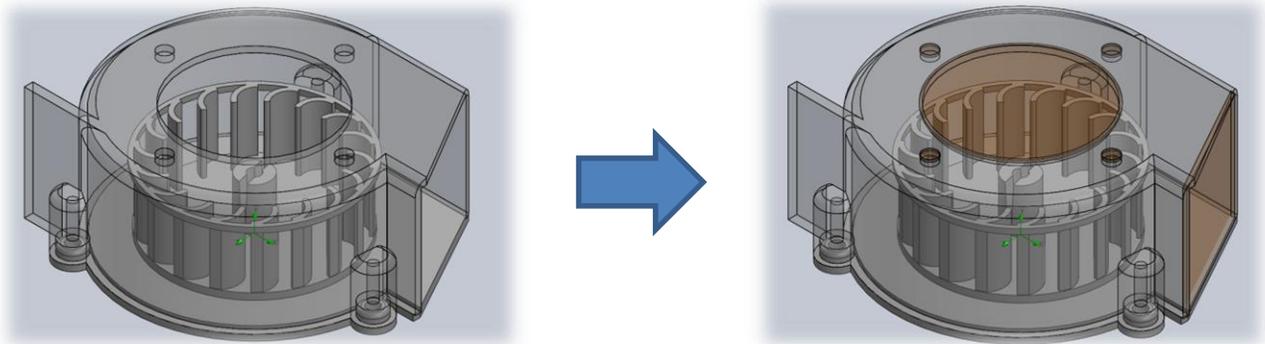
*Imagen 64 Estabilización de la solución a los objetivos determinados.*

La Imagen 63 e Imagen 64 ilustran el tiempo aproximado de cálculo y estabilización de los objetivos; en cuanto los objetivos se estabilizan en un valor, (escala del 0 a 1) el software finaliza las iteraciones y los cálculos terminan.

**Análisis 1, prototipo 1:**

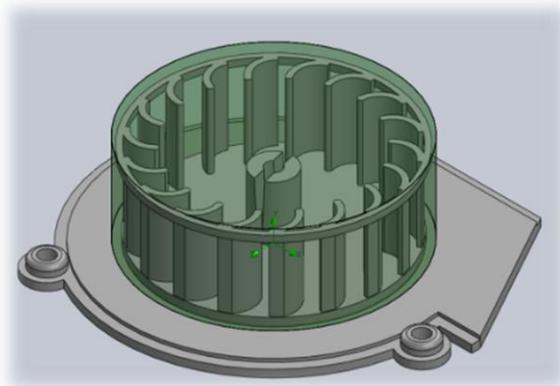
A) Análisis de fluido considerando la *geometría existente* utilizando como condición inicial las 2100 RPM nominales del motor para determinar velocidades y flujo volumétrico del aire a la salida del ensamble del motor ventilador. (CFD, 1, EX-A)

Para poder visualizar el interior del ventilador, se cambia a transparencia; el siguiente paso es crear las tapas que servirán para determinar los límites de dominio para el análisis, Imagen 65.



*Imagen 65 Creacion de tapas en el ventilador, para definición de dominio.*

El siguiente paso es crear una región rotativa para las aspas del ventilador (Imagen 66), servirá para determinar el volumen que delimita el dominio de rotación.



*Imagen 66 Creación de la region rotativa.*

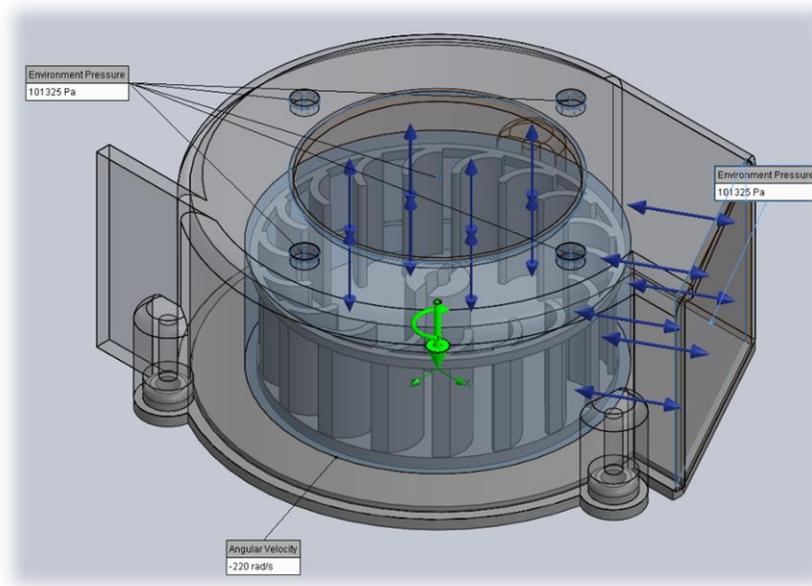


Imagen 67 Colocacion de las condiciones iniciales atmosféricas y RPM del motor.

Como último paso se seleccionan las caras internas de las tapas y se indica al software que estarán sometidas a presión atmosférica, posteriormente se selecciona la región rotativa y se le asigna que gira a 220 rad/s (2100 RPM) en sentido mostrado por la flecha verde (Imagen 67).

Posteriormente se inician los cálculos y al finalizar se obtienen los siguientes resultados:



Imagen 68 Corte de velocidades 1 con vectores dirección.

Mediante este gráfico de distribución de velocidades (Imagen 68), se pueden ver las velocidades que el aire alcanza en la carcasa del ventilador, en esta sección se tienen velocidades máximas de 6.8 m/s en los alabes y mínimas de 0.682 m/s en el centro de los alabes, además de que se tienen unos vórtices en las partes inferior y superior de la carcasa del ventilador.

En la Imagen 69 se aprecia, con un corte de planta, la trayectoria del aire en el ventilador, la zona azul en el centro representa la succión, en esta no se alcanzan a observar los vectores debido a que están normales al plano de la vista de corte; además se nota que la mayoría de los vectores apuntan hacia la descarga del ventilador, con una velocidad de salida que va desde 2.143 a 5 m/s, teniendo una máxima velocidad del aire en los alabes de 8.123 m/s debido principalmente a la rotación de las aspas del motor ventilador.

A continuación se muestran las trayectorias del fluido mediante la cual se puede apreciar el recorrido del aire desde la succión, los alabes y la descarga del ventilador.

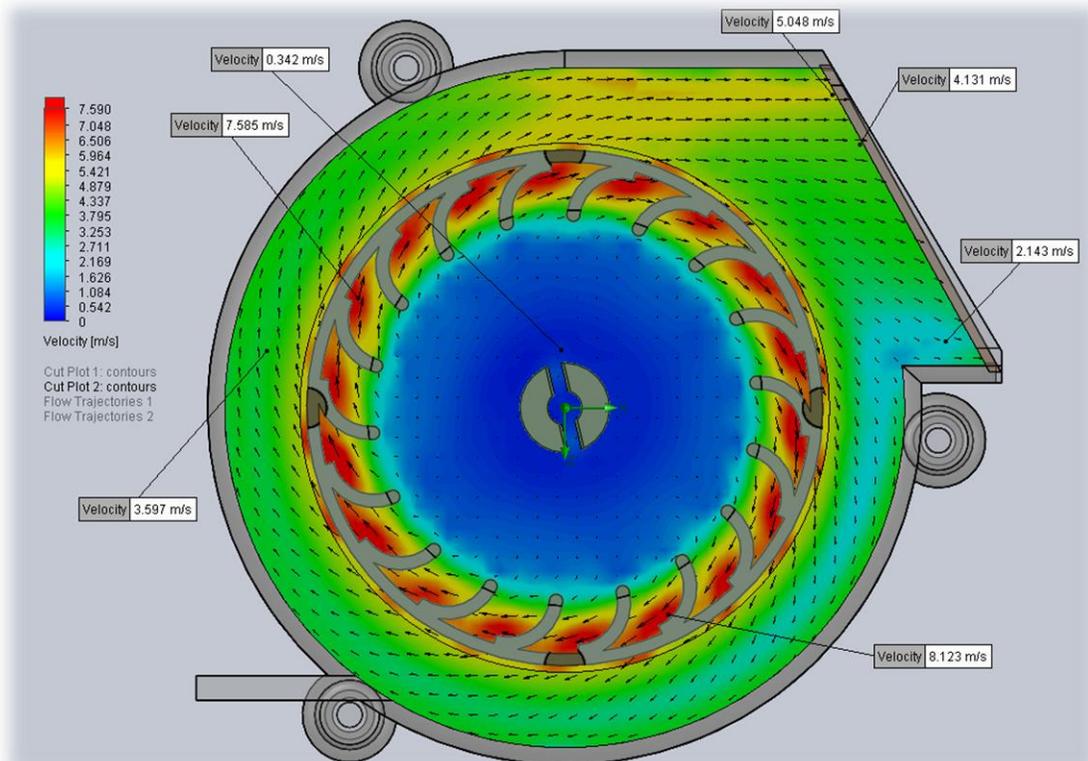
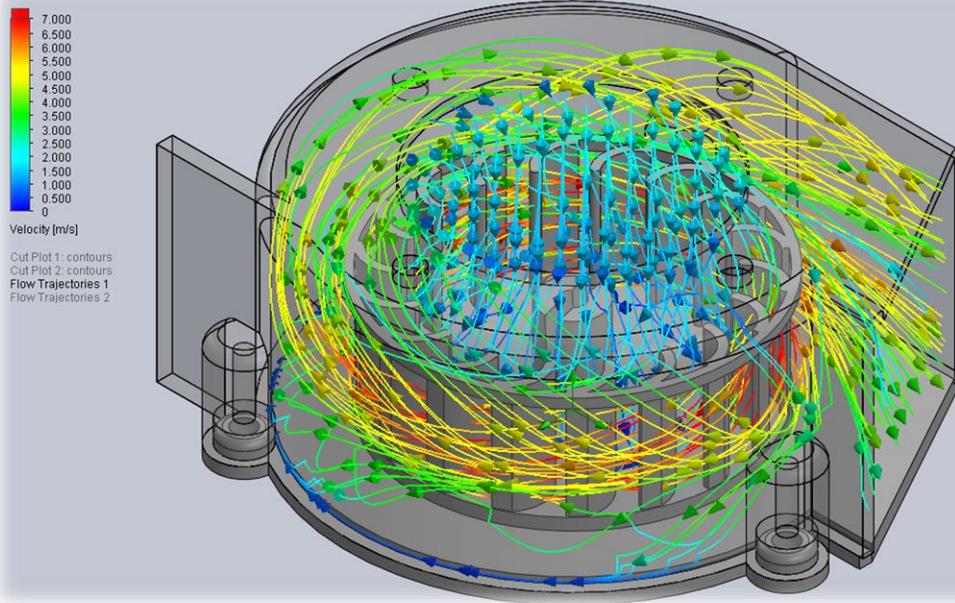
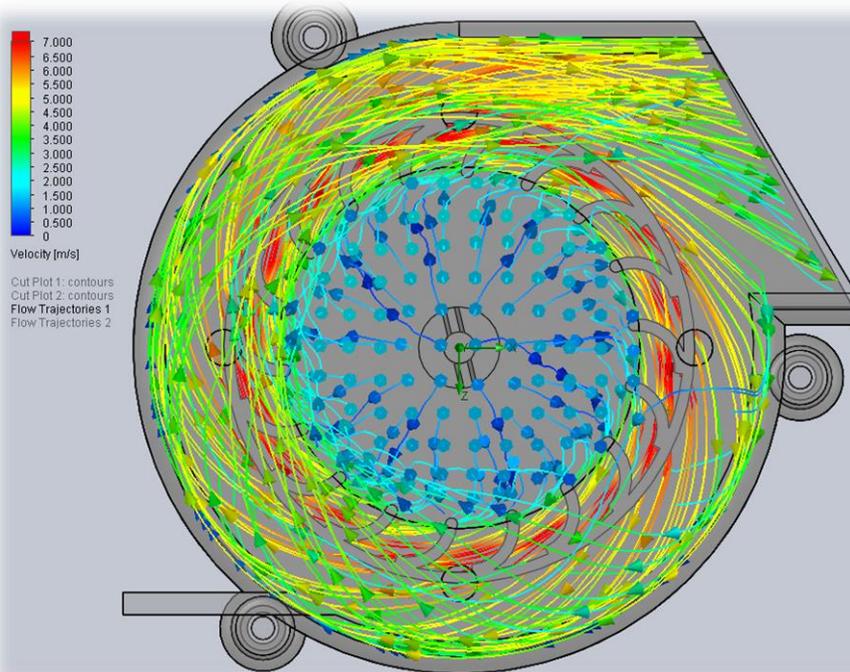


Imagen 69 Corte de velocidades 2 con vectores dirección.

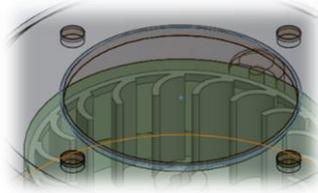


*Imagen 70 Trayectorias del fluido en el ventilador, vista isometrica.*



*Imagen 71 Trayectorias del fluido en el ventilador, vista superior.*

Por último se calculan los flujos volumétricos en la entrada y salida del ventilador.



*Imagen 72 Flujo volumetrico, entrada del ventilador.*

*Tabla 1 Parámetros a la entrada del ventilador.*

<i>Local parameters</i>					
Parameter	Minimum	Maximum	Average	Bulk Average	Surface Area [m <sup>2</sup> ]
Pressure [Pa]	101321.739	101324.98	101323.808	101323.653	0.001256069
Velocity [m/s]	0.181114601	2.32787855	1.3554836	1.46183226	0.001256069
<i>Integral parameters</i>					
Parameter	Value	X-component	Y-component	Z-component	Surface Area [m <sup>2</sup> ]
Mass Flow Rate [kg/s]	0.002032708				0.001256069
Volume Flow Rate [m <sup>3</sup> /s]	0.001688731				0.001256069

Se tiene que el flujo volumétrico a la entrada del ventilador es de 0.001688 m<sup>3</sup>/s, equivalente a 3.578 CFM.



*Imagen 73 Flujo volumetrico, salida del ventilador.*

*Tabla 2 Parámetros a la salida del ventilador.*

<i>Local parameters</i>					
Parameter	Minimum	Maximum	Average	Bulk Average	Surface Area [m <sup>2</sup> ]
Pressure [Pa]	101324.289	101325.044	101324.914	101324.96	0.001046447
Velocity [m/s]	0.0179603	5.50559469	2.76889735	3.74048624	0.001046447
<i>Integral parameters</i>					
Parameter	Value	X-component	Y-component	Z-component	Surface Area [m <sup>2</sup> ]
Mass Flow Rate [kg/s]	0.001987038				0.001046447
Volume Flow Rate [m <sup>3</sup> /s]	-0.00165093				0.001046447

Se tiene que el flujo volumétrico a la salida del ventilador es de  $0.00165 \text{ m}^3/\text{s}$  en dirección inversa (el signo indica que el aire sale del ventilador), equivalente a 3.498 CFM.

Resumen para el análisis:

- El ventilador funciona de manera correcta, ya que succiona el aire de la parte superior y lo expulsa en la descarga del mismo.
- Las velocidades de entrada se encuentran de 0.181-2.327 m/s, con un promedio de 1.355 m/s (Tabla 1) y a la salida se encuentran de 0.01796 a 5.5 m/s, con un promedio de 2.768 m/s (Tabla 2).
- El flujo volumétrico tanto a la entrada como a la salida son casi iguales (3.498-3.578 CFM), pero no se alcanza el flujo necesario de 33.1 CFM.

**Análisis 1, prototipo 1:**

B) Análisis de fluido considerando *geometría existente* utilizando como condición inicial las 2100 RPM nominales del motor para determinar velocidades de salida, flujo volumétrico y distribución de presiones en el ensamble de cúpula. (CFD, 1, EX-B)

Al igual que el *Análisis 1, prototipo 1-A*); se considera una región rotativa en el ventilador, pero ahora se tiene en el ensamble de cúpula. El primer paso es crear las tapas que estarán sometidas a la presión atmosférica.

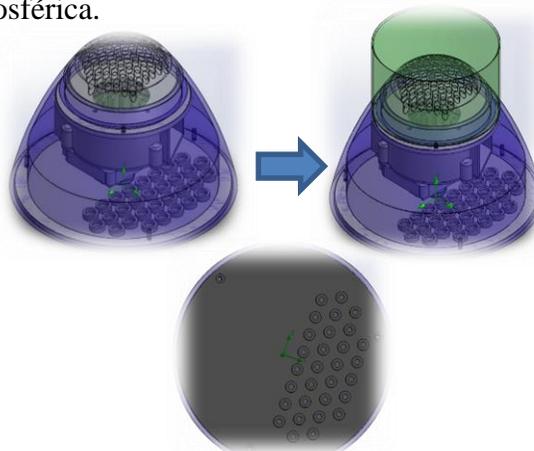
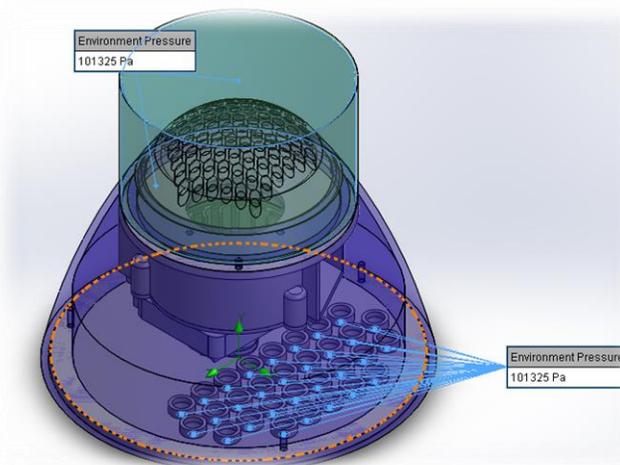


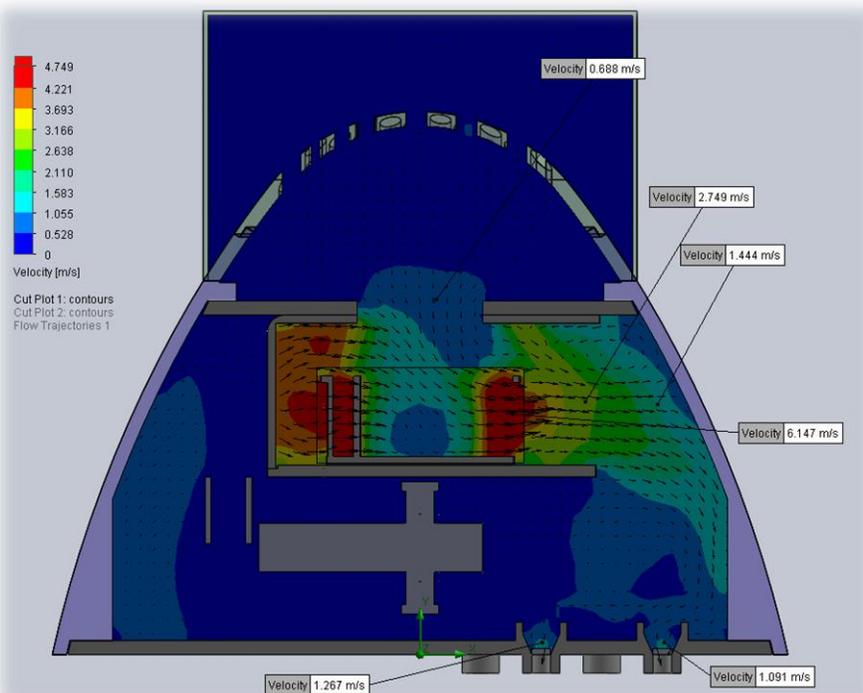
Imagen 74 Creación de tapas.



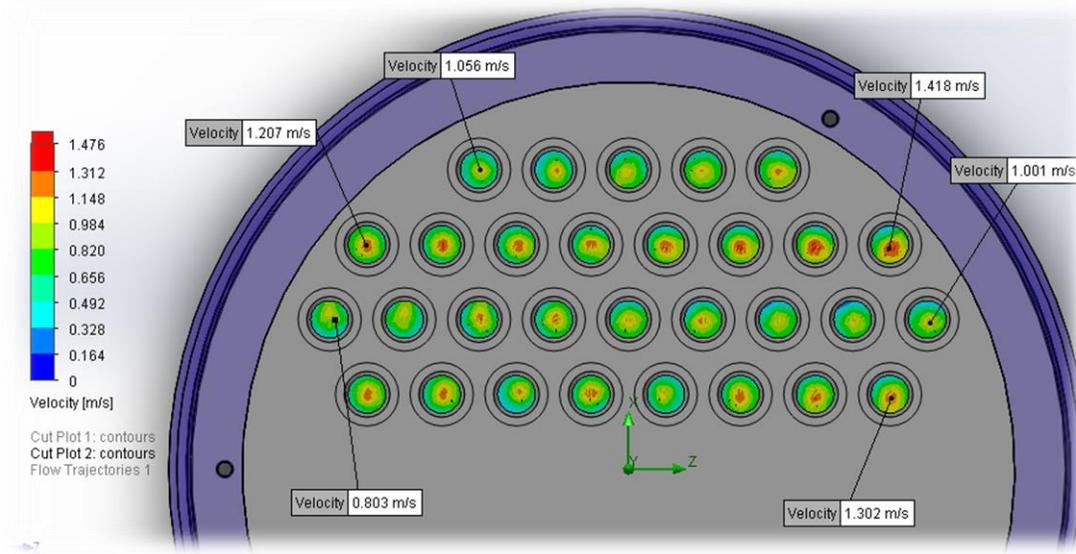
*Imagen 75 Colocación de las condiciones atmosféricas.*

Lo siguiente es seleccionar las caras internas de las tapas y se indica al software que estarán sometidas a la presión atmosférica (Imagen 75); posteriormente se inician los cálculos del programa y al finalizar se obtienen los siguientes resultados:

Mediante este gráfico de distribución de velocidades (Imagen 76), se pueden ver las velocidades que el aire alcanza dentro del ensamble de cúpula, en esta sección se tienen velocidades máximas de 6.147 m/s en las aspas y mínimas de 0.688 m/s en la succión del ventilador.



*Imagen 76 Corte de velocidades del ensamble de cúpula.*

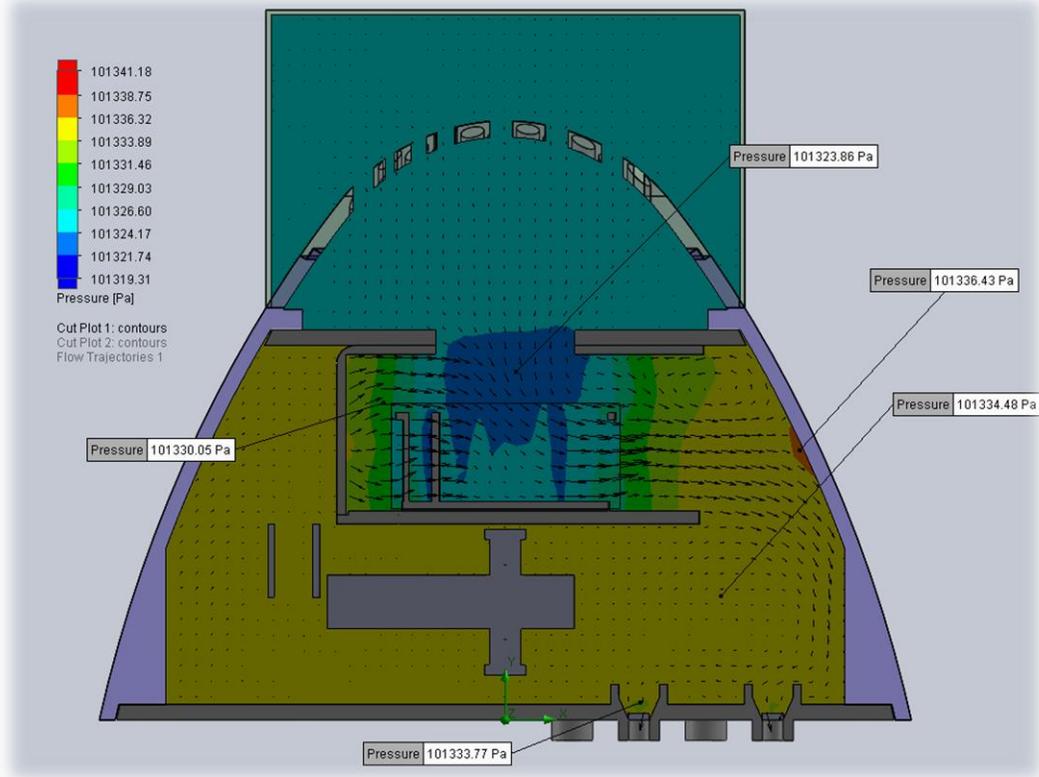


*Imagen 77 Distribución de velocidades en los orificios.*

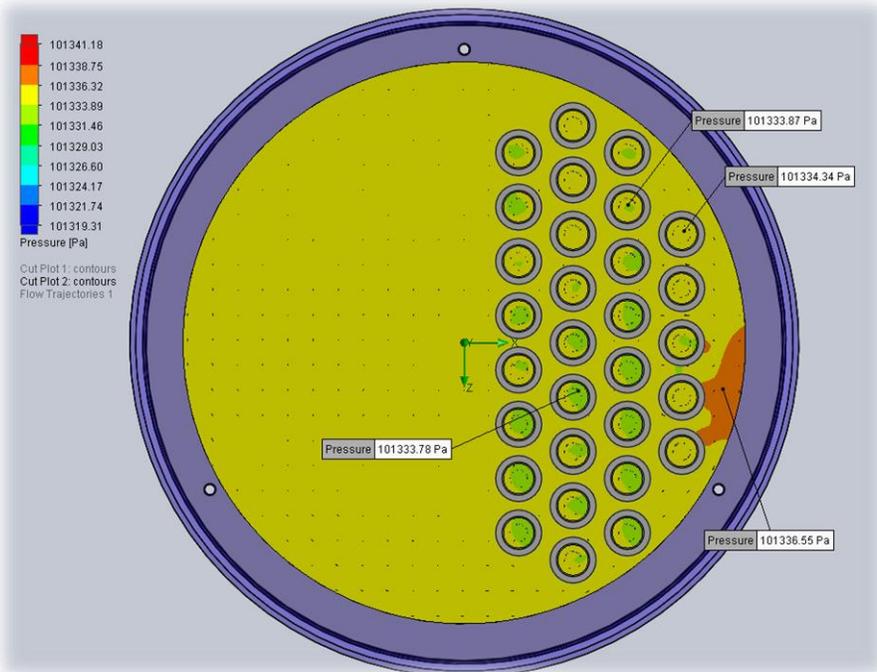
La Imagen 77 muestra las velocidades de salida del aire por los orificios de la base del cono, la mayor registrada tiene un valor de 1.418 m/s y menor de 0.803 m/s. En general la distribución de velocidades a la salida se encuentra de manera homogénea, ya que la mayoría se hallan en valores por arriba de 0.6 a 0.8 m/s, según la escala de colores.

En las imágenes inferiores (Imagen 78 e Imagen 79) se distinguen las distribuciones de presiones dentro del cuerpo del cono, estas tienen variaciones de 101323.86 Pa en el centro de las aspas del ventilador y máximas en el interior del cuerpo del cono, con un valor de 101334.48 Pa de manera homogénea.

En la Imagen 79 muestra las presiones a la salida de los orificios, con valores de 101333 a 103334 Pa de manera homogénea; el valor de 101336 Pa que se observa es debido al choque del aire en esa zona, (sección anaranjada en las imágenes).

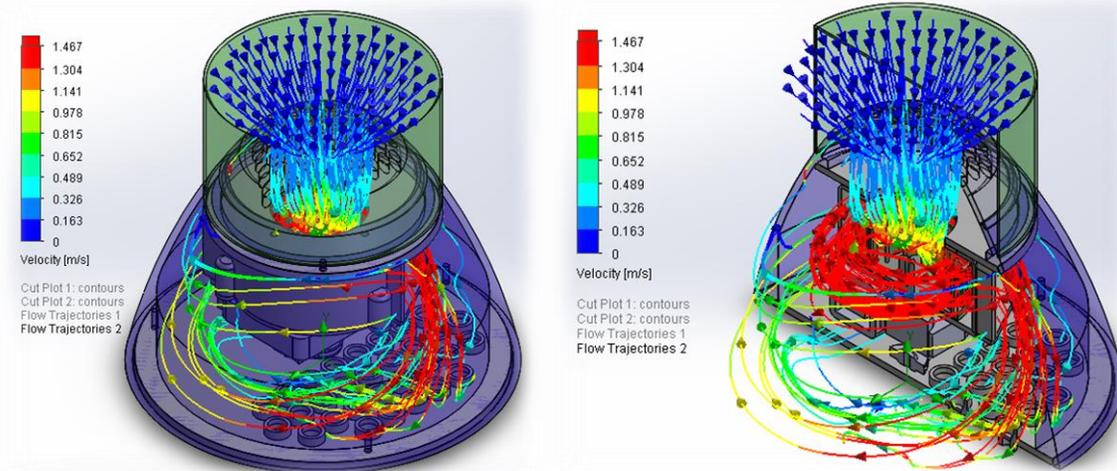


*Imagen 78 Distribución de presiones del ensamble de cúpula.*

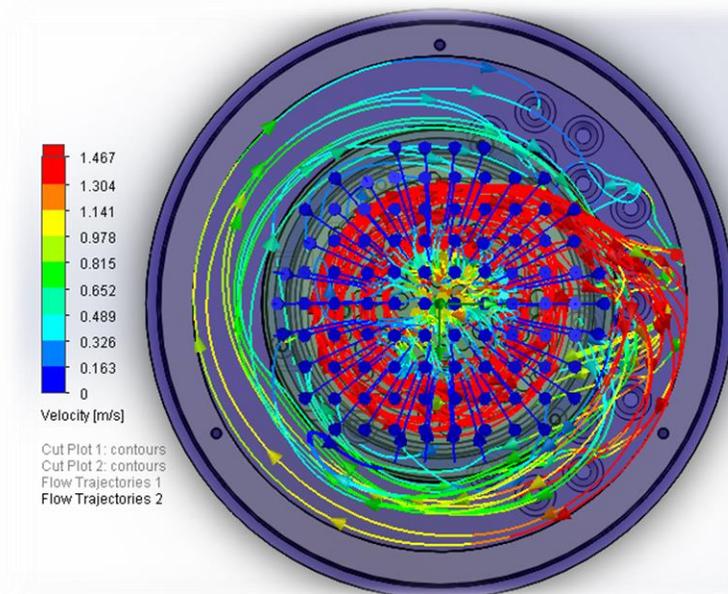


*Imagen 79 Distribución de presiones en los orificios.*

A continuación se muestran las trayectorias del fluido mediante las cuales se puede apreciar el recorrido del aire desde la succión-alabes-descarga del ventilador y la distribución en el cuerpo del cono.

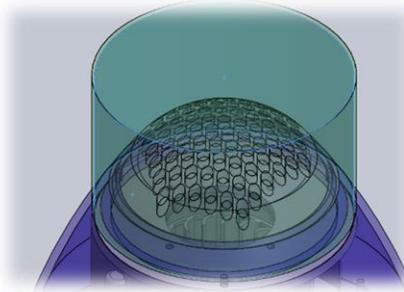


*Imagen 80 Trayectorias de fluido en el ensamble de cúpula*



*Imagen 81 Trayectoria de fluido, vista superior.*

Por último se calcula los flujos volumétricos a la entrada y salida del ensamble de cúpula.

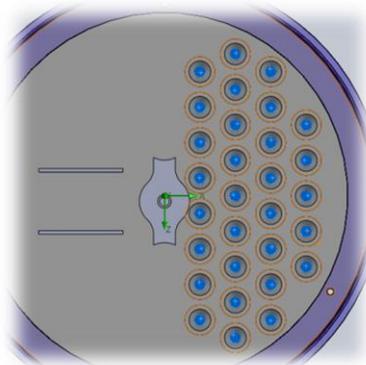


*Imagen 82 Flujo volumétrico a la entrada de la cúpula de cono.*

*Tabla 3 Parámetros a la entrada de la cúpula de cono.*

<i>Local parameters</i>					
Parameter	Minimum	Maximum	Average	Bulk Average	Surface Area [m <sup>2</sup> ]
Pressure [Pa]	101324.994	101325	101324.999	101324.998	0.023450558
Velocity [m/s]	1.11516E-07	0.099670169	0.030965159	0.045336253	0.023450558
<i>Integral parameters</i>					
Parameter	Value	X-component	Y-component	Z-component	Surface Area [m <sup>2</sup> ]
Mass Flow Rate [kg/s]	0.000874459				0.023450558
Volume Flow Rate [m <sup>3</sup> /s]	0.000726473				0.023450558

Se tiene que el flujo volumétrico a la entrada de la cúpula es de 0.000726 m<sup>3</sup>/s, equivalente a 1.539 CFM.



*Imagen 83 Flujo volumétrico a la salida de la base del cono.*

Tabla 4 Parámetros a la salida de la base del cono.

<i>Local parameters</i>					
Parameter	Minimum	Maximum	Average	Bulk Average	Surface Area [m <sup>2</sup> ]
Pressure [Pa]	101325	101325	101325	101325	0.000285213
Velocity [m/s]	0.00169234	3.7437388	2.65152087	2.9272436	0.000285213
<i>Integral parameters</i>					
Parameter	Value	X-component	Y-component	Z-component	Surface Area [m <sup>2</sup> ]
Mass Flow Rate [kg/s]	-0.000871244				0.000285213
Volume Flow Rate [m <sup>3</sup> /s]	-0.000723853				0.000285213

Se tiene que el flujo volumétrico a la salida de los orificios de la base del cono es de 0.000723 m<sup>3</sup>/s en dirección negativa, (el signo indica que el aire sale), equivalente a 1.534 CFM.

Resumen para el análisis:

- El ventilador funciona de manera correcta, ya que succiona el aire de la parte superior de la cúpula de cono lo expulsa en la descarga del ventilador.
- Las velocidades en la entrada en los orificios de la base del cono son aproximadamente de 0 a 0.0996 m/s, con un promedio de 0.0309 m/s (Tabla 3) y a la salida de 0.00169 a 3.7440 m/s, con un promedio de 2.6515 m/s (Tabla 4).
- El flujo volumétrico tanto a la entrada como a la salida son casi iguales (1.534 a 1.539 CFM), pero no se alcanza el flujo necesario de 33.1 CFM, debido a que la cúpula de cono actúa como un filtro, provocando un menor paso de aire.
- En este análisis el flujo volumétrico tanto de entrada como de salida son menores que los observados en *Análisis 1, prototipo 1- A*), en donde se tenían valores de 3.498 a 3.578 CFM.

**Análisis 2, prototipo 1:**

A) Análisis de fluido considerando *geometría existente comparativa* proponiendo el flujo volumétrico ideal de **33.1 CFM** por los orificios de la base del cono, para determinar las velocidades del aire en el tambor, distribución de presiones y vórtices. (CFD, 1, EXC-A)

Como primer paso es crear las tapas que servirán para determinar la entrada del aire para el análisis y además crear el espacio sometido a la presión atmosférica, Imagen 84. La entrada de aire será en los orificios de la base del cono, por estos pasan los 33.1 CFM (0.01562 m<sup>3</sup>/s).

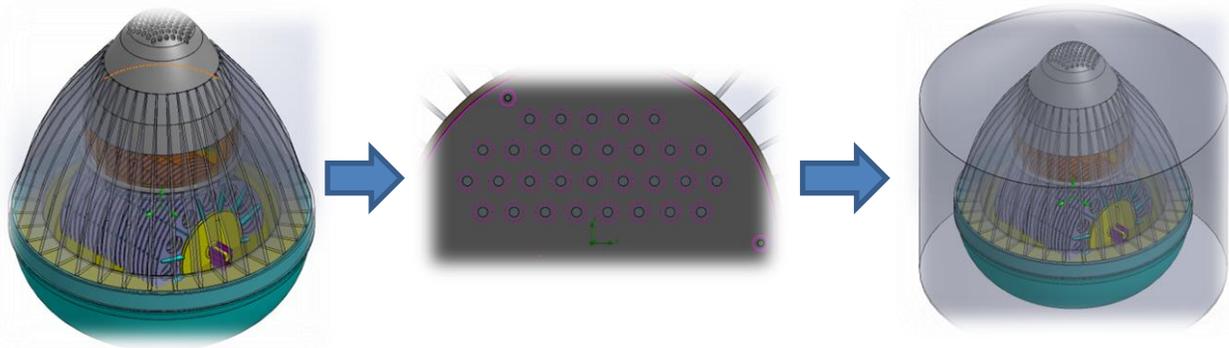


Imagen 84 Creación de tapas.

Se seleccionan las caras internas de las tapas y se indica al programa que estarán sometidas a la presión atmosférica y en los orificios se tendrá la entrada del aire (Imagen 85).

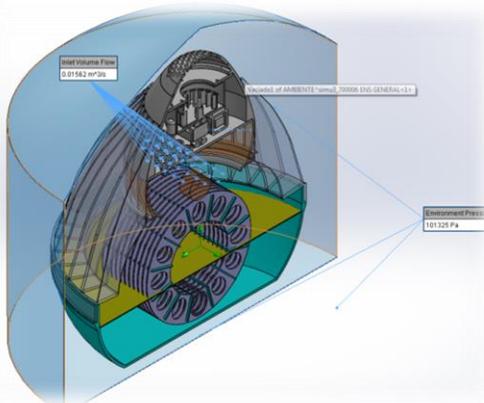
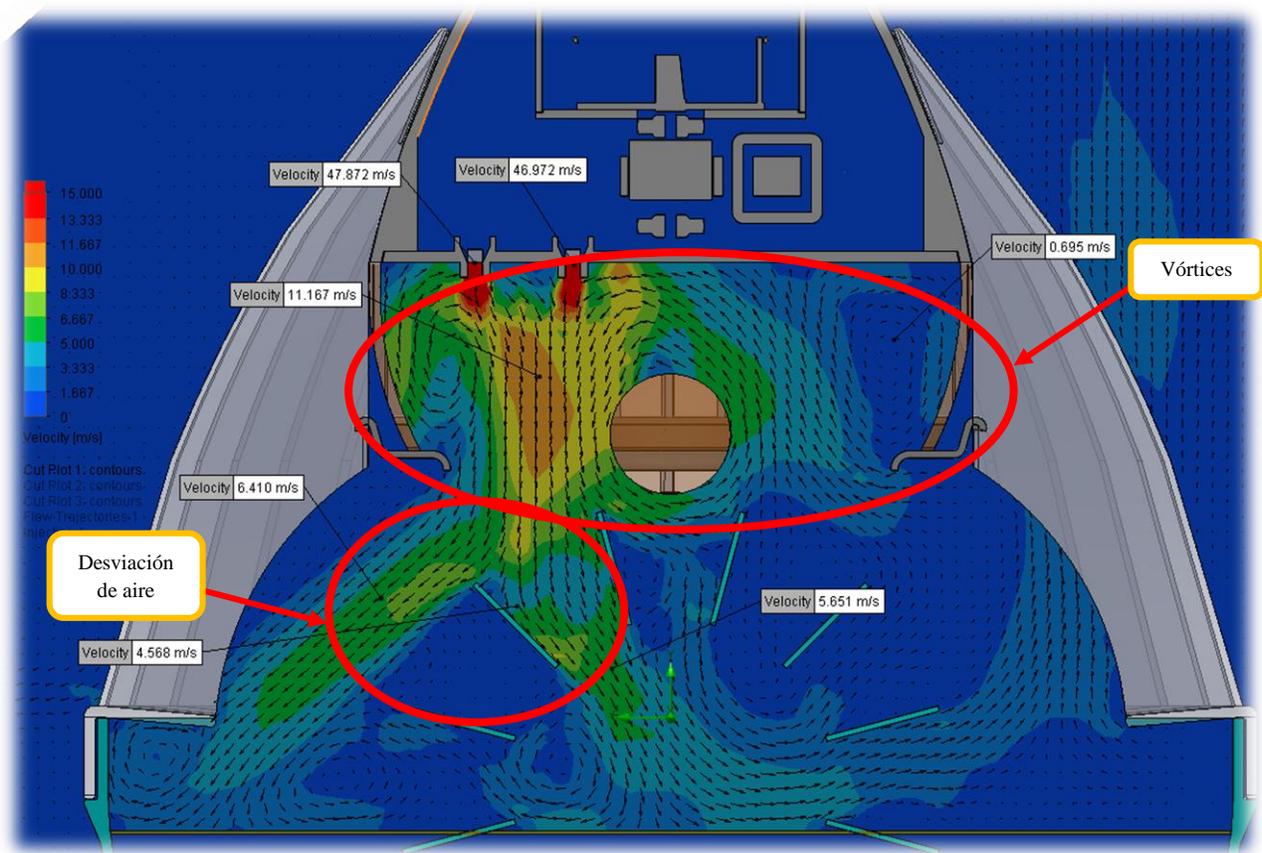


Imagen 85 Colocación de la presión atmosférica y entrada de aire.

Posteriormente se inician los cálculos del programa y al finalizar se obtienen los siguientes resultados:

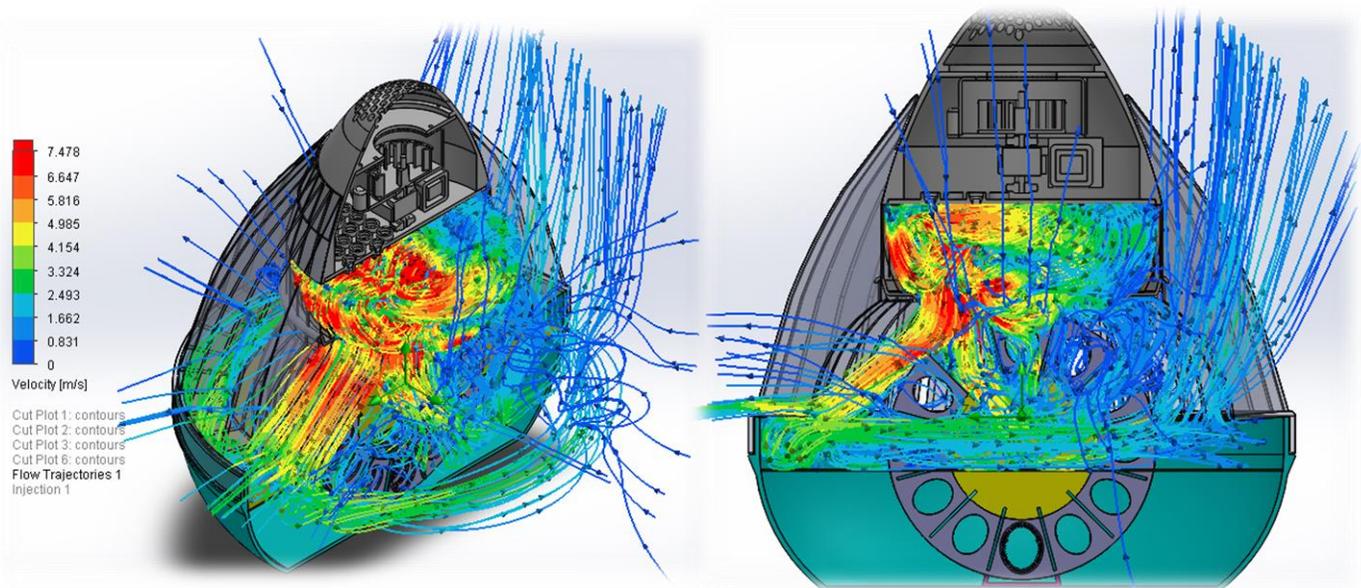
Mediante este gráfico de distribución de velocidades (Imagen 86), se pueden ver las velocidades que el aire alcanza dentro del ensamble general, en esta sección se tienen velocidades máximas de 47.872 a 47.972 m/s en los orificios y mínimas de 0.695 m/s en la sección posterior de los orificios.



*Imagen 86 Distribución de velocidades.*

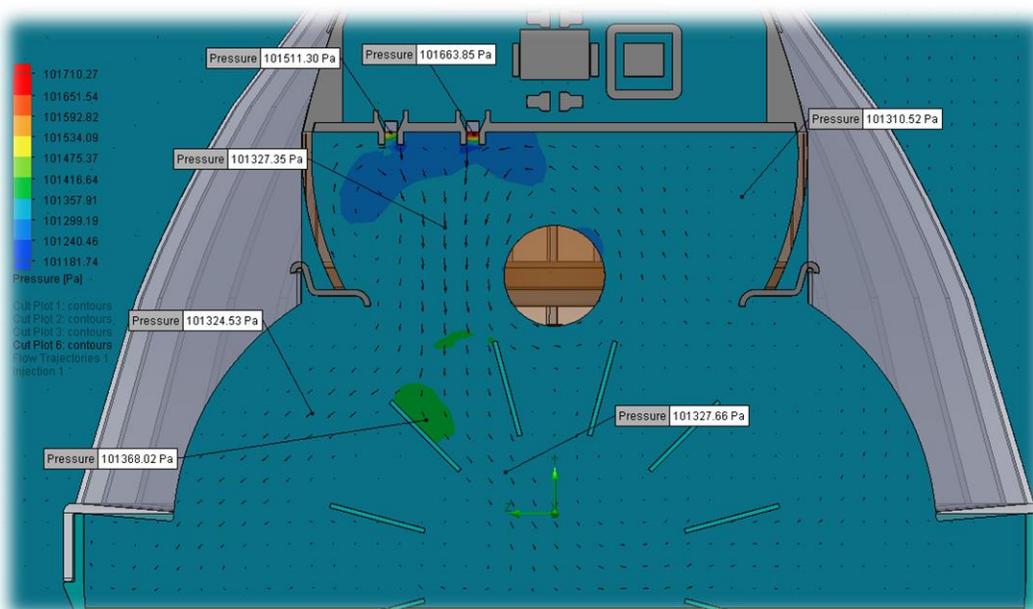
Posteriormente la velocidad va disminuyendo a medida que el aire se desplaza hacia los abanicos, llegando con una velocidad de 4.588 a 5.651 m/s; una parte del aire está entrando a través de los peines y otra parte es desviada por los abanicos, después de pasar a través de estos el aire choca en el espejo de agua y posteriormente sale por la rejilla a una velocidad muy baja cercana de 0 a 1.667 m/s, también se alcanza a observar la formación de vórtices en la zona del motor de tracción.

En la siguiente imagen se puede apreciar la trayectoria del fluido.



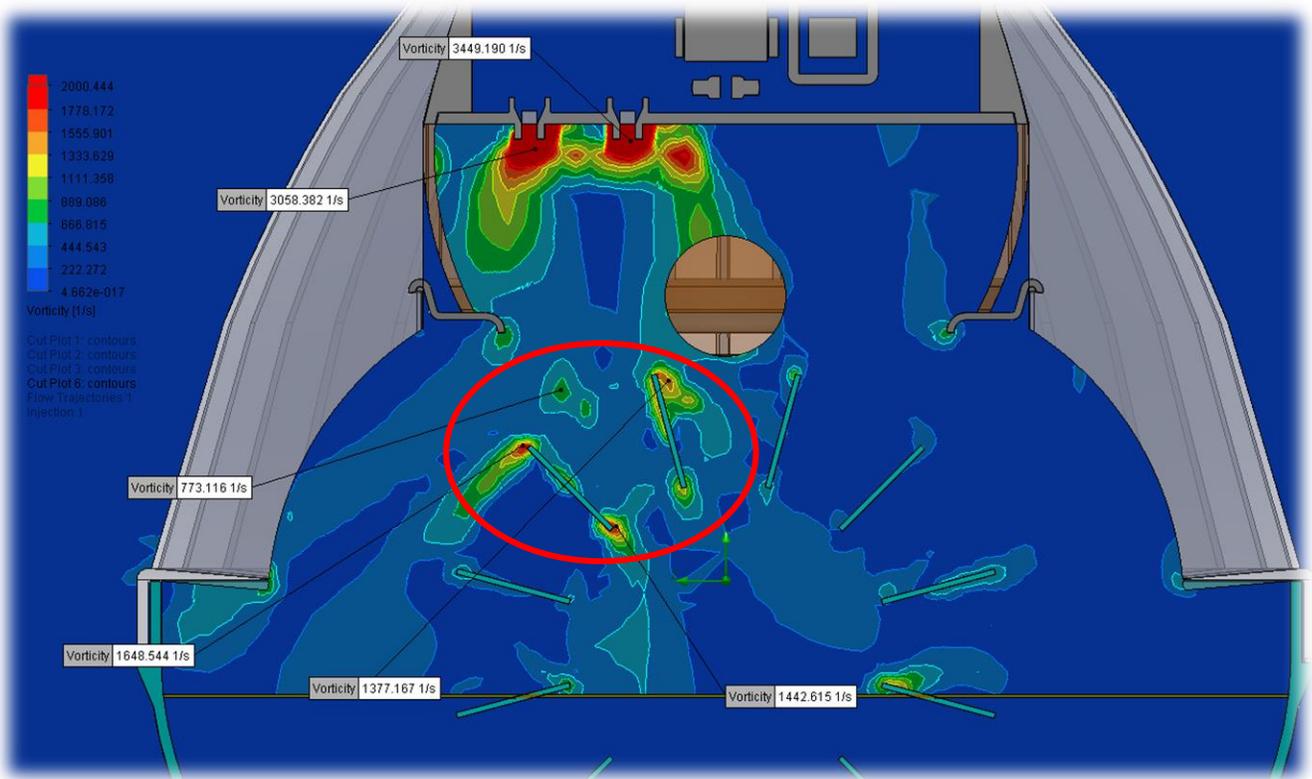
*Imagen 87 Trayectorias de fluido.*

En la Imagen 88 se distinguen las distribuciones de presiones dentro del cuerpo del ensamble, estas tienen variaciones desde 1016663.85 Pa en la salida de los orificios y mínimas en el interior del ensamble, con un valor de 101327.66 Pa de manera homogénea; además se tiene un ligero aumento de presión en la zona de contacto de uno de los peines de 101368.02 Pa.



*Imagen 88 Distribución de presiones.*

En lo referente a los vórtices, la Imagen 89 ilustra las zonas en donde se generan con una mayor frecuencia, los ubicados en la parte los orificios son los mayores, de 3058.38 Hz y 3449.19 Hz; al llegar el aire a los peines y los abanicos se tienen tres vórtices importantes también, con valores de 1648, 1442 y 1377 Hz cada uno.



*Imagen 89 Distribución de los vórtices.*

En la Tabla 5 se puede apreciar que el flujo volumétrico total que pasa por los orificios de la base del cono es de 0.01562 m<sup>3</sup>/s, que es equivalente a los 33.1 CFM, además se tiene una velocidad promedio de 42.88 m/s del aire a la salida de los mismos.

*Tabla 5 Parámetros del flujo de aire en la base del cono*

Local parameters					
Parameter	Minimum	Maximum	Average	Bulk Average	Surface Area [m <sup>2</sup> ]
Pressure [Pa]	101377.283	101731.034	101623.702	101623.713	0.000365036
Velocity [m/s]	27.95594	50.4911903	42.8861597	43.4088312	0.000365036

<i>Integral parameters</i>					
Parameter	Value	X-component	Y-component	Z-component	Surface Area [m <sup>2</sup> ]
Mass Flow Rate [kg/s]	0.018856939				0.000365036
Volume Flow Rate [m <sup>3</sup> /s]	0.015621661				0.000365036

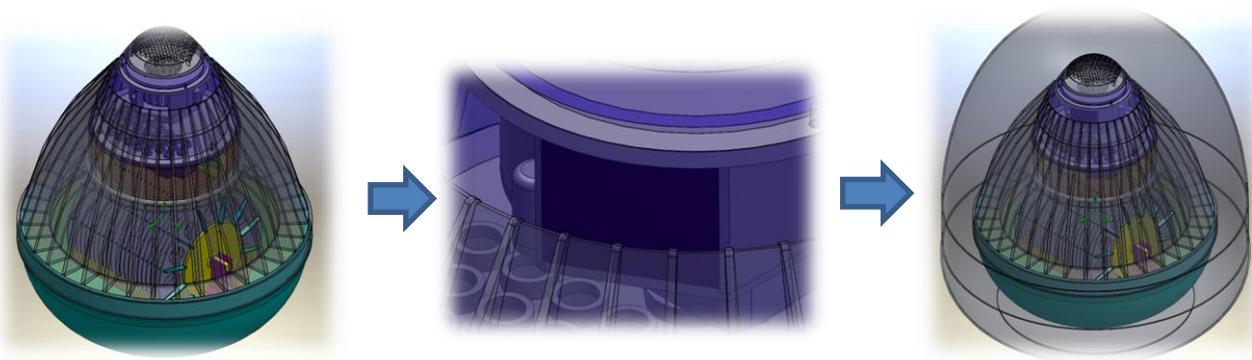
Resumen para el análisis:

- El aire sale con una velocidad de 47.872 a 47.972 m/s por los orificios de la base del cono, logrando llegar al tambor con una velocidad que alcanza los 4.588 a 5.651 m/s.
- Nótese que no todo el aire pasa a través de los abanicos, sino que una parte del mismo es desviado por la geometría del tambor y la posición de los peines, provocando una desviación de aire cercano al 50%.
- Las presiones en el interior del desalinizador en la zona del tambor son homogéneas, rondando valores de 101327 Pa (muy cercano a la presión atmosférica), solo se alcanza a observar un ligero aumento de presión de 101368 Pa en uno de los peines, provocado por el choque del aire, esto no representa un aumento excesivo, ya que solo se encuentra 43 Pa por encima de la atmosférica.
- Los vórtices generados en la zona de los peines, (Imagen 89), provocan que el aire se encuentre recirculando en estos puntos, esto puede resultar benéfico ya que se requiere que el fluido que pase por los abanicos sea de régimen turbulento; y esto es lo que representan los valores de vorticidad, un flujo turbulento en rotación espiral.

**Análisis 2, prototipo 1:**

B) Análisis de fluido considerando *geometría existente comparativa* proponiendo el flujo volumétrico ideal de **33.1 CFM** en la descarga del ventilador, para determinar las velocidades del aire en el tambor, distribución de presiones y vórtices. (CFD, 1, EXC-B)

Como primer paso es crear las tapas que servirán para determinar la entrada del aire para el análisis y además crear el espacio sometido a la presión atmosférica, Imagen 90. La entrada de aire será en la descarga del ventilador, por esta pasan los 33.1 CFM (0.01562 m<sup>3</sup>/s),

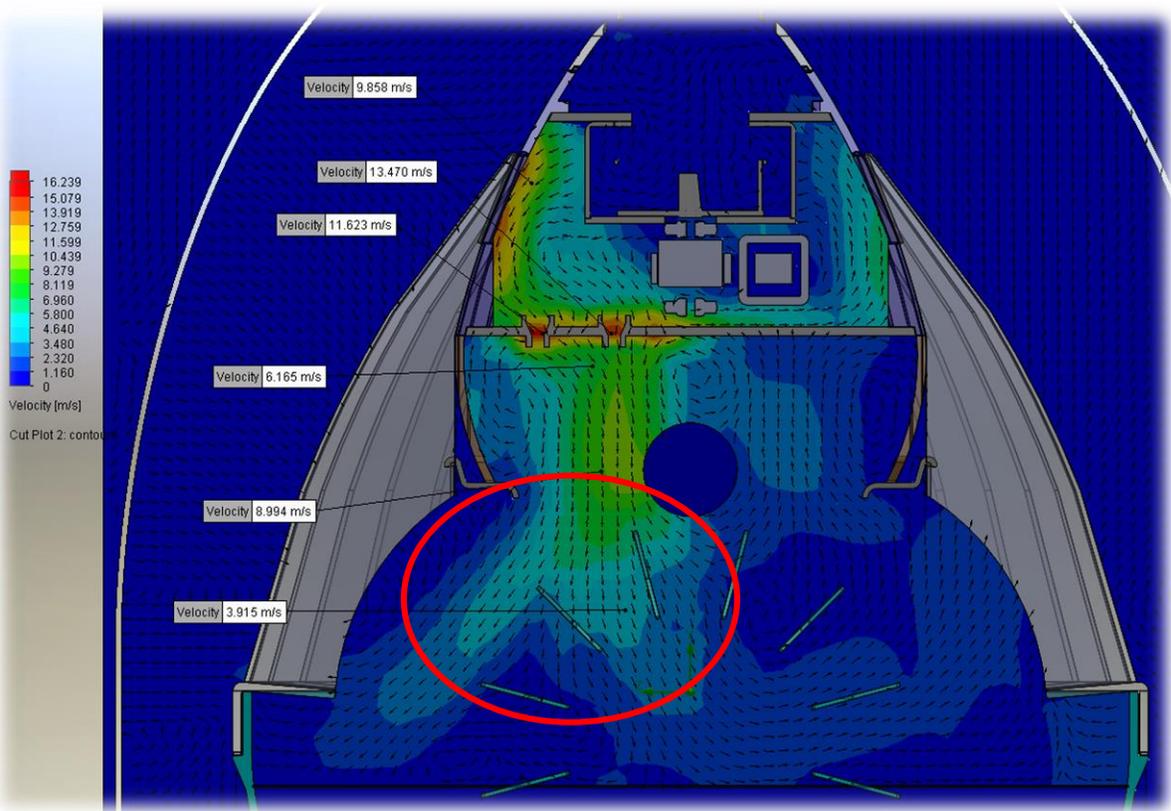


*Imagen 90 Creación de tapas de ensamblaje general.*

Como siguiente paso es seleccionar las caras que estarán sometidas a la presión atmosférica (Imagen 91); posteriormente se inician los cálculos del programa y al finalizar se obtienen los siguientes resultados:



*Imagen 91 Tapas sometidas a la presión atmosférica y salida de aire.*

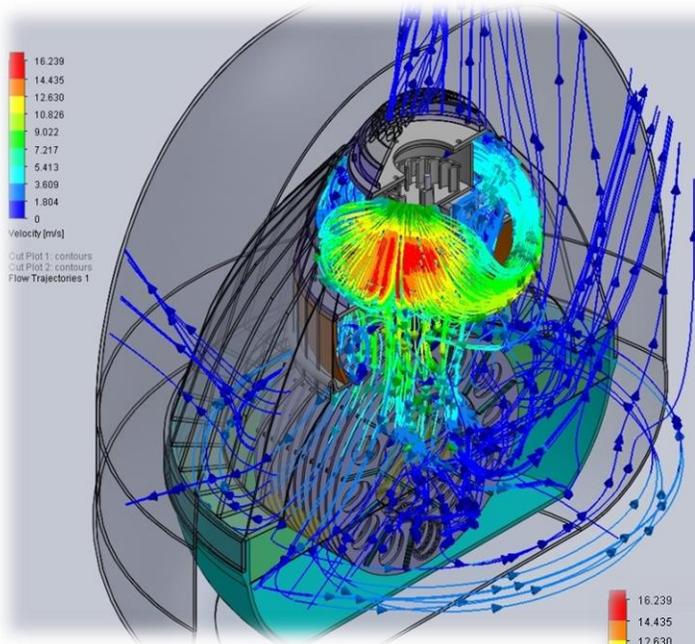


*Imagen 92 Distribución de velocidades del ensamble general.*

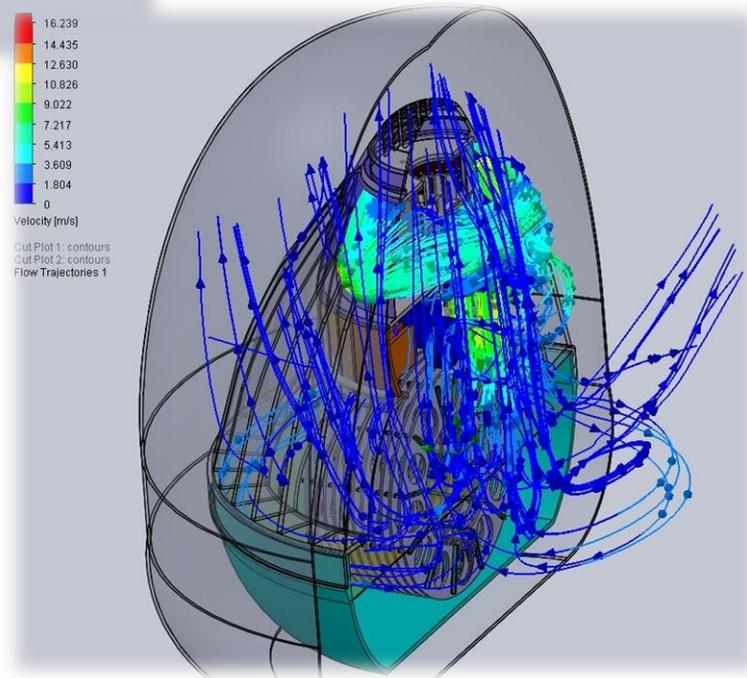
Mediante este gráfico de distribución de velocidades (Imagen 92), se pueden ver las velocidades que el aire alcanza dentro del ensamble general, en esta sección se tienen velocidades máximas de 11.623 a 13.47 m/s en orificios de la base del cono, que posteriormente va disminuyendo a medida que el aire se desplaza hacia los abanicos, llegando con una velocidad de 3.915 m/s.

Una parte del aire entra a través de los peines y otra parte es desviada por los abanicos, después de pasar a través de estos el aire choca en el espejo de agua y posteriormente sale por la rejilla a una velocidad muy baja de 0 a 1.16 m/s (por eso el color azul en el exterior); también se alcanza a observar la formación de vórtices en la zona del motor de tracción.

En las siguientes imágenes se aprecia de una mejor manera la trayectoria del fluido dentro del ensamble.



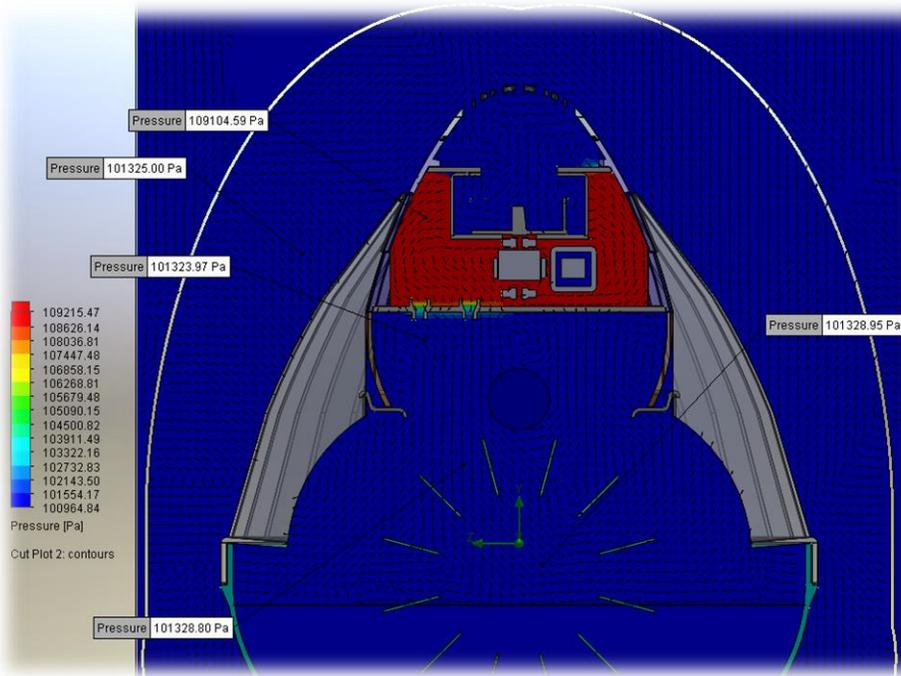
*Imagen 93 Trayectorias de fluido 1.*



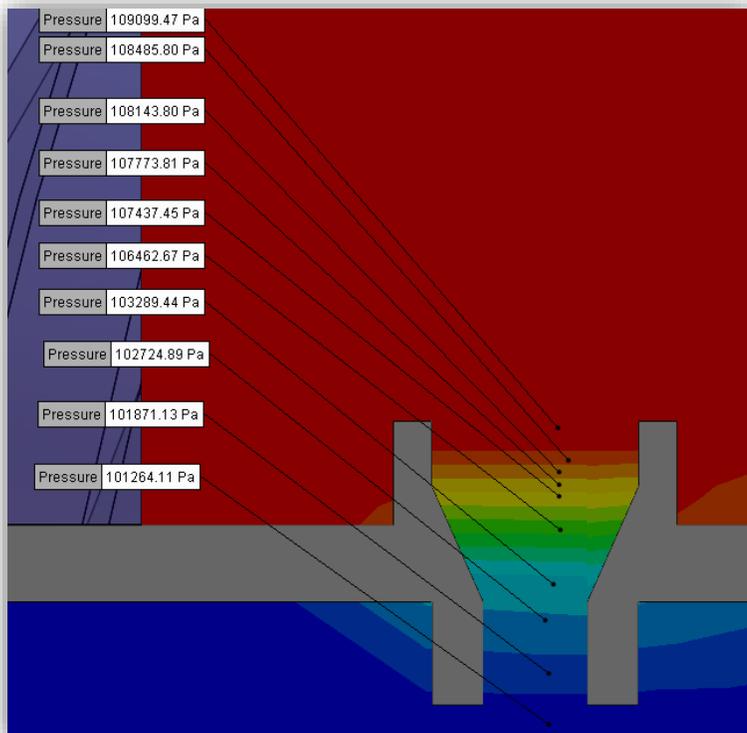
*Imagen 94 Trayectorias de fluido 2.*

A continuación se muestra en la Imagen 95 cómo se ve la distribución de presiones en el ensamble; se puede notar que las mayores presiones se localizan en la zona de la cúpula, esto

debido al choque del aire en las paredes, alcanzando valores de 109104 Pa; una vez que el aire sale por los orificios la presión cae a valores de 101328 Pa; es decir, a la presión atmosférica.



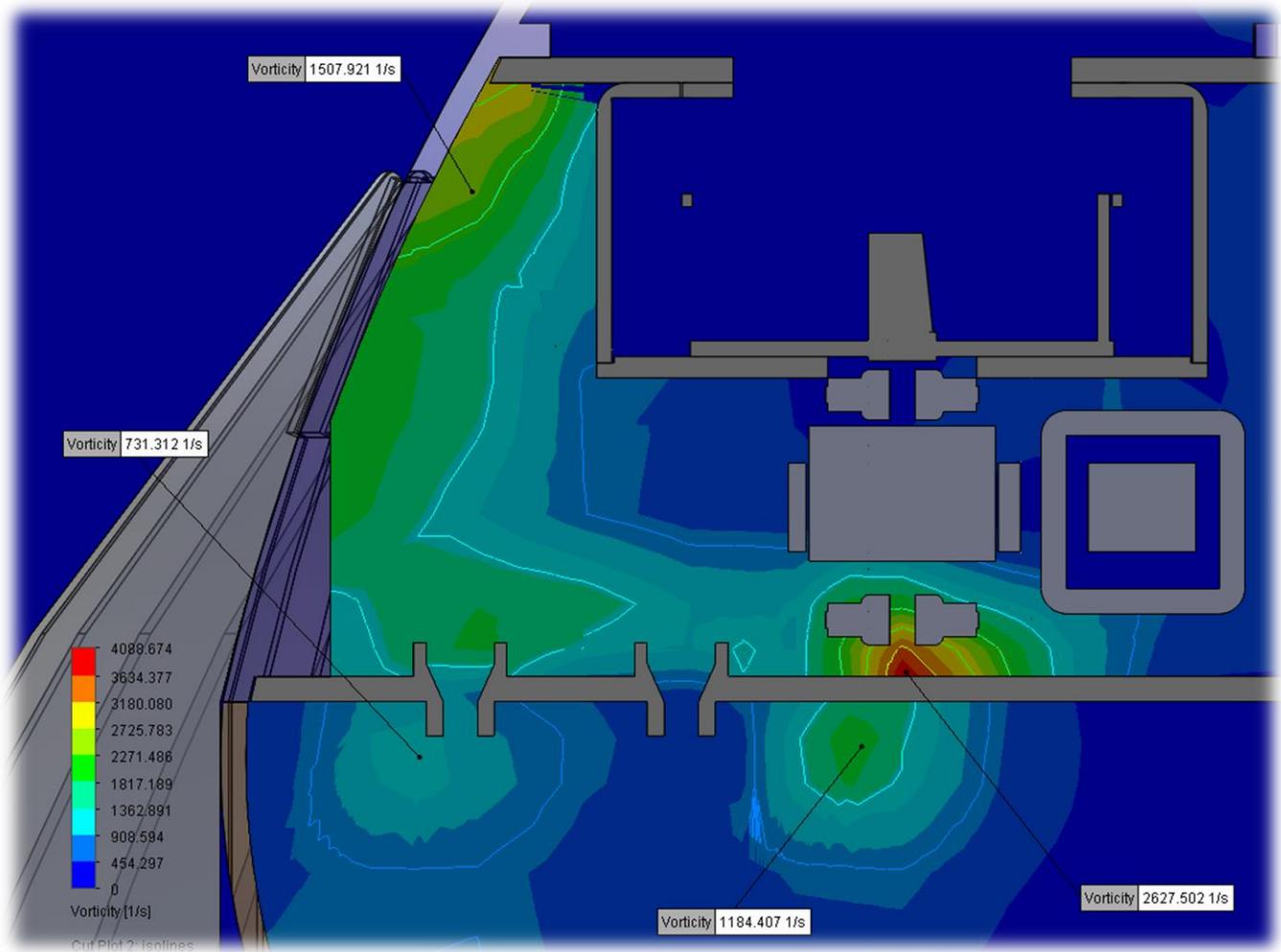
*Imagen 95 Distribución de presiones en el ensamble general.*



*Imagen 96 Presiones en la salida de los orificios.*

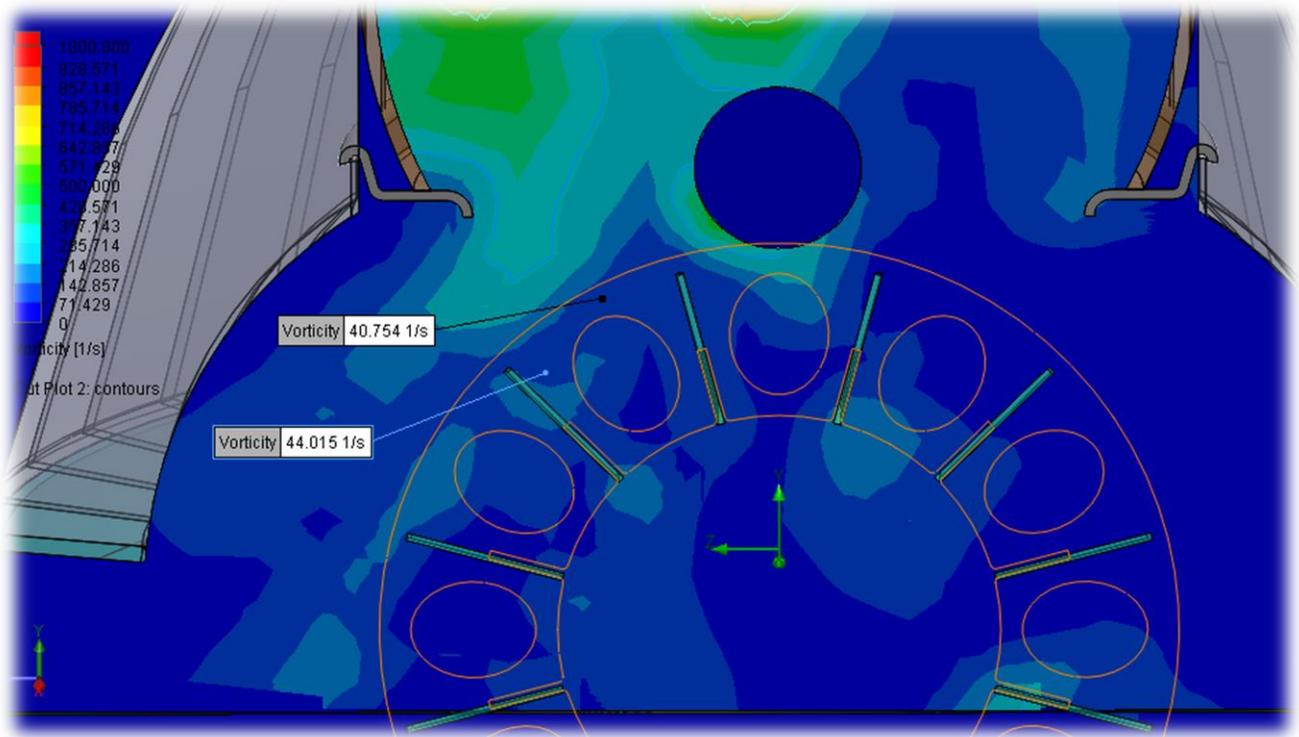
En la Imagen 96 se puede apreciar como cae la presión al pasar por los orificios, hasta llegar al valor de la presión atmosférica.

En lo referente a los vórtices, la Imagen 97 ilustra las zonas en donde se generan vórtices con una mayor frecuencia, en los vórtices ubicados en la parte de la cúpula se tienen los mayores; al salir el aire por los orificios de la base del cono se tienen dos vórtices importantes también, con valores de 731.312 Hz y 1184.407 Hz.



*Imagen 97 Vórtices generados en el ensamblaje general.*

El vórtice que se observa con valor de 2627 Hz, se debe al poco espacio entre motor ventilador y la base de cúpula, provocando una restricción al paso del aire en esta zona.



*Imagen 98 Vórtices en la zona del tambor.*

En la Imagen 98 se aprecia que se generan valores de vorticidad muy pequeños en la zona del tambor, debido a que el aire llega a baja velocidad.

Resumen para el análisis:

- En este análisis el aire sale con una velocidad de 11.623 a 13.47 m/s por los orificios de la base del cono y llega al tambor con velocidad de 3.915 m/s.
- Como el análisis anterior hay que hacer notar que no todo el aire pasa a través de los abanicos, sino que una parte del mismo es desviado por la geometría del tambor y la posición de los peines, provocando una desviación de aire de un 30-35%.
- Las presiones en el interior del desalinizador en la zona del tambor son homogéneas, rondando valores de 101328 Pa, lo cual es bastante cercano a la presión atmosférica; para este análisis no se observa aumento de presión en los peines.

- Este análisis es más apegado a las condiciones reales debido a que se ha introducido el caudal de flujo de 33.1 CFM en la descarga del ventilador. En comparación con el análisis 2, prototipo 1-A donde se insertó como condición 33.1 CFM en entrada de orificios.
- No se tienen vórtices grandes en la zona de los peines, es decir, el aire se encuentre recirculando en estos puntos pero con actividad baja o imperceptible.
- **Propuesta de modificación geométrica:**
  - Para dirigir el caudal de aire que sale del ventilador hacia los orificios de la base del cono, se propone crear un deflector para que el aire se concentre sobre los orificios y no se desvíe hacia otra sección.

**Análisis 2, prototipo 1:**

- C) Análisis de fluido considerando geometría existente comparativa proponiendo el flujo volumétrico obtenido de análisis 1, prototipo 1-B a la descarga del ventilador para determinar velocidades de salida, distribución de presiones y vórtices en el ensamble general. **(CFD, 1, EXC-C)**

Al igual que el Análisis 2, prototipo 1-B se preparan las tapas para la entrada y salida del aire y además crear el espacio sometido a la presión atmosférica, Imagen 99.

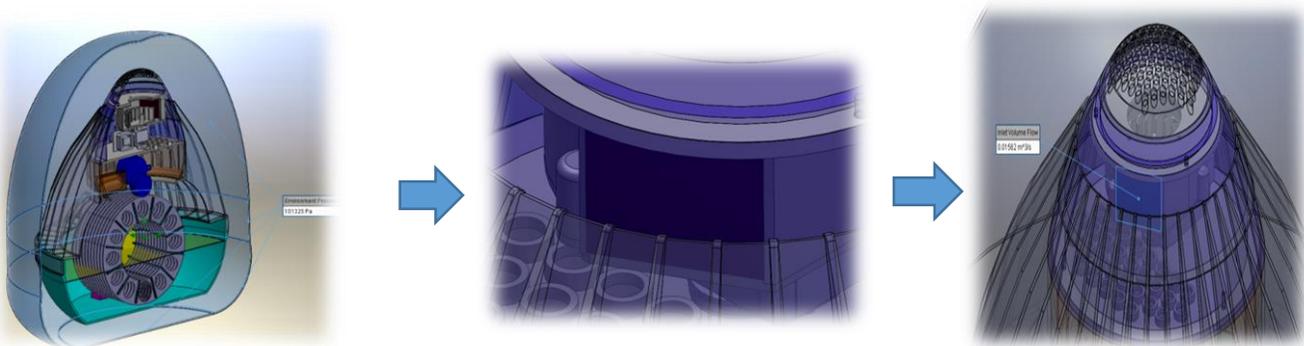
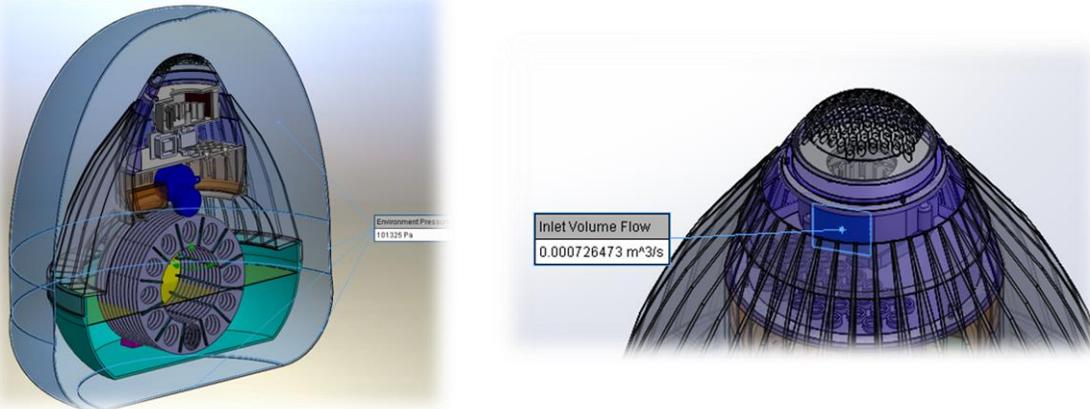
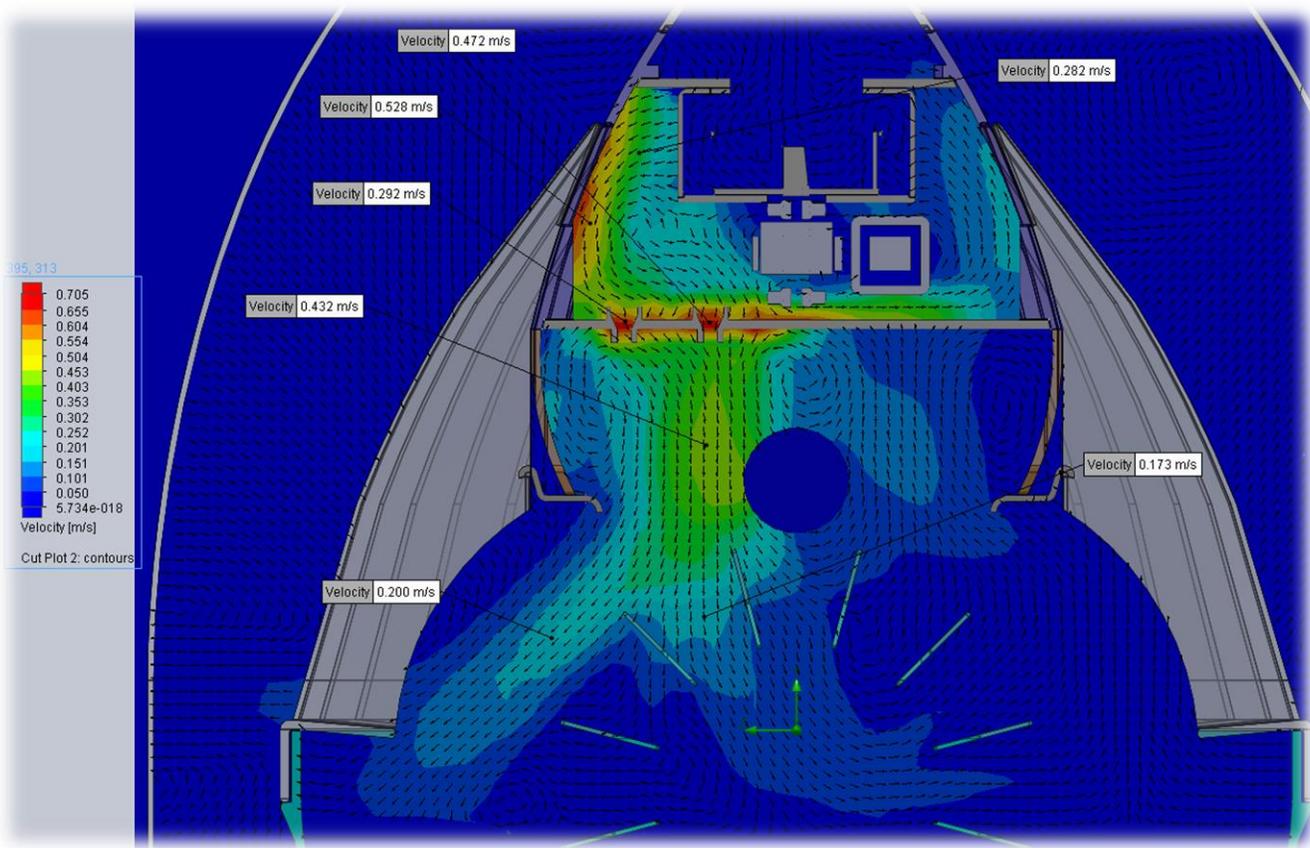


Imagen 99 Creación de tapas.

Como siguiente paso es seleccionar las caras que estarán sometidas a la presión atmosférica, además de la cara en el ventilador por donde se tendrán los 1.539 CFM (Imagen 100), después de esto se inician los cálculos del programa para visualizar los resultados.



*Imagen 100 Tapas sometidas a la presión atmosférica y salida de aire.*



*Imagen 101 Distribución de velocidades.*

Mediante este gráfico de distribución de velocidades (Imagen 101), se pueden ver las diferentes velocidades que el aire alcanza dentro del ensamble general, en esta sección se tienen velocidades máximas de 0.472 a 0.528 m/s en orificios de la base del cono, que posteriormente van disminuyendo a medida que el aire se desplaza hacia los abanicos, llegando con una velocidad de 0.173 m/s; una parte del aire entra a través de los peines y otra parte es desviada por los abanicos, después de pasar a través de estos el aire choca en el espejo de agua y posteriormente sale por la rejilla a una velocidad muy baja de 0 a 0.05 m/s.

Cabe destacar que con este análisis se toman en cuenta los 1.539 CFM que es el caudal de aire que proporciona el ventilador con las 2100 RPM en el ensamble de cúpula (CFD, 1, EX-B).

A continuación se puede apreciar la trayectoria del fluido por el desalinizador.

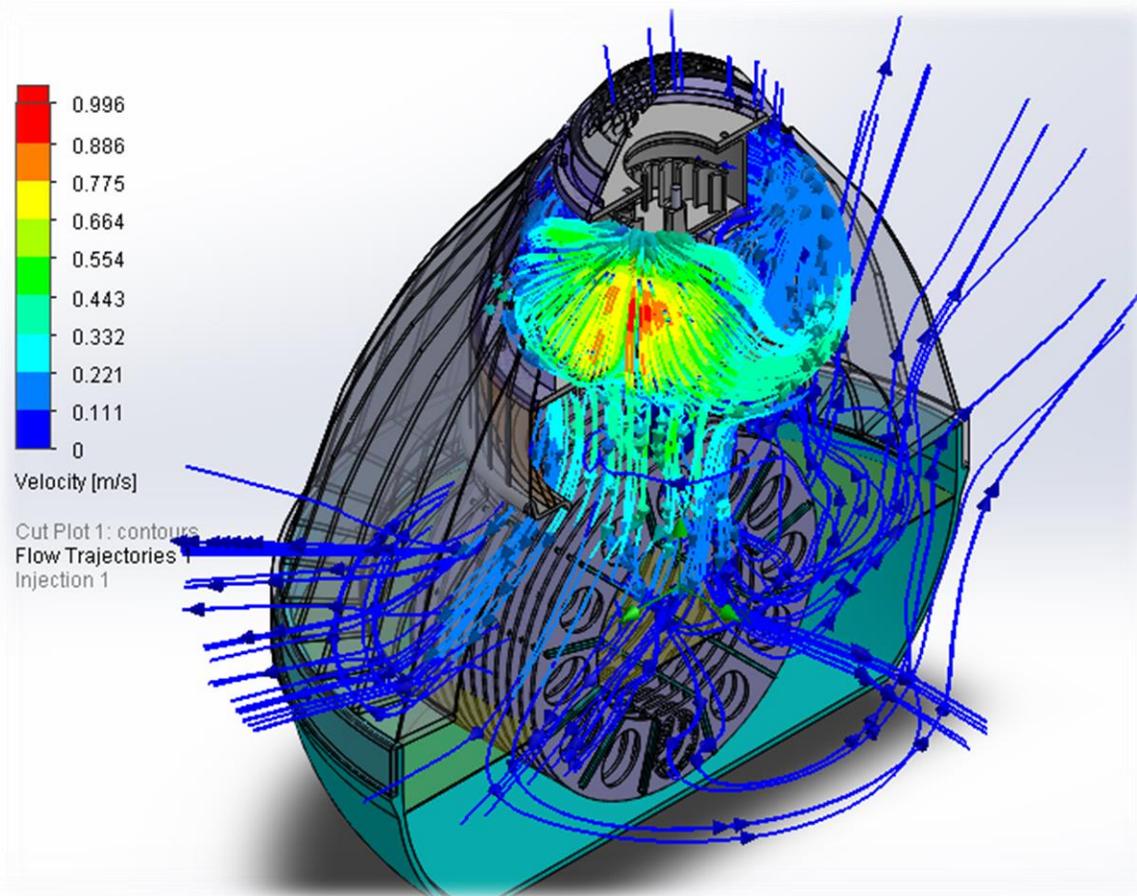
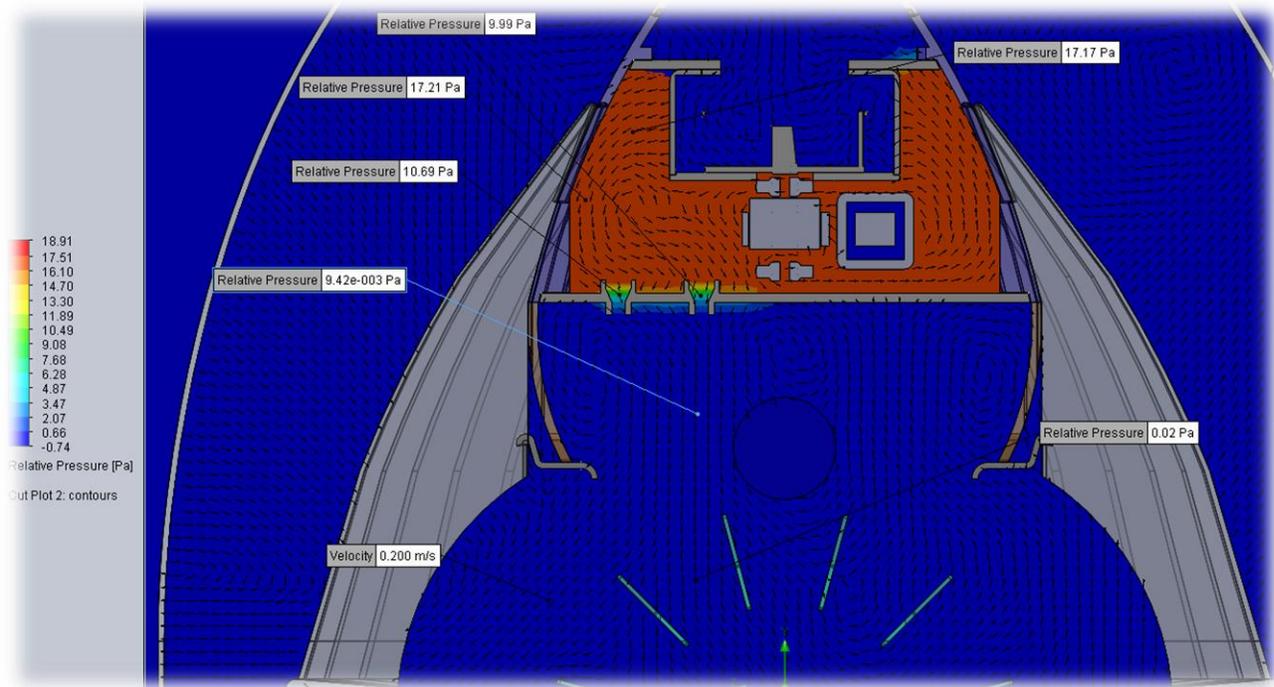
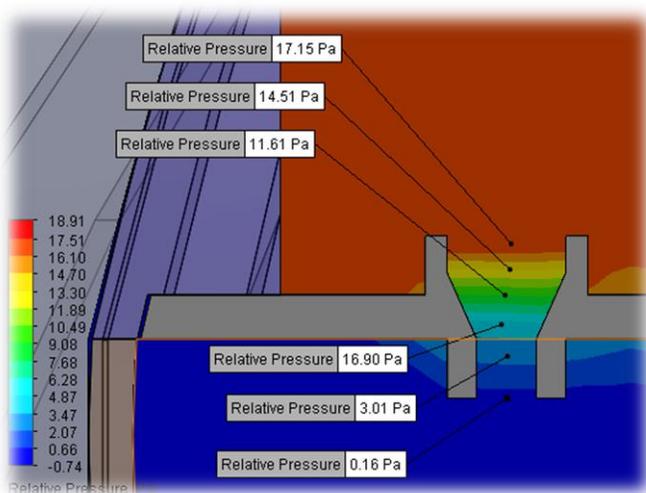


Imagen 102 Trayectoria de fluido.

A continuación se muestra un gráfico en donde se ven las distribuciones de presiones en el ensamble; las mayores presiones se localizan en la zona de la cúpula, esto debido a la descarga de aire del ventilador, alcanzando niveles de 17.17 Pa por encima de la presión atmosférica; una vez que el aire sale por los orificios la presión cae a valores de 0.2 Pa; es decir, muy cercano a la atmosférica.

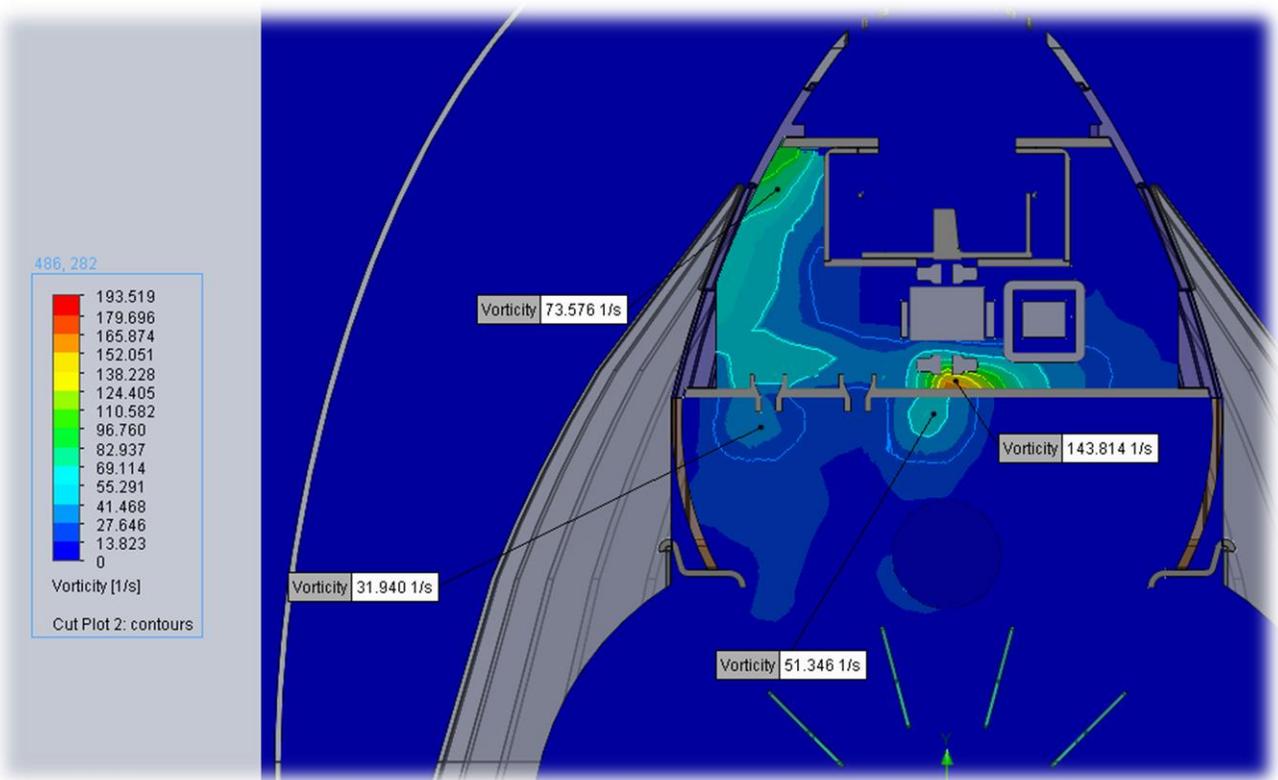


*Imagen 103 Distribución de presiones relativas*



*Imagen 104 Presiones relativas en la salida de los orificios.*

En la imagen 85 se puede apreciar como cae la presión al pasar por los orificios, hasta llegar al valor de la presión atmosférica.



*Imagen 105 Vórtices generados en el ensamble general*

Como último punto se tienen los vórtices; la Imagen 105 ilustra las zonas en donde se generan vórtices con una mayor frecuencia, en los vórtices ubicados en la parte de la cúpula se tienen los mayores; al salir el aire por los orificios de la base del cono ya no se tienen vórtices debido principalmente a que el aire sale a muy baja velocidad.

Resumen para el análisis:

- El aire sale con una velocidad muy baja por los orificios de la base del cono; para este caso se tienen velocidades que rondan los 0.472 a 0.528 m/s en los orificios y llega al tambor con velocidad de 0.173 m/s.
- Como el análisis anterior hay que hacer notar que no todo el aire pasa a través de los abanicos, sino que una parte del mismo es desviado por la geometría del tambor y la posición de los peines, provocando una desviación de aire de un 30-35%.

- Las presiones en el interior del desalinizador en la zona del tambor son homogéneas, alcanzando valores cercanos a 101325 Pa, indicando que se encuentra a la presión atmosférica, para este análisis no se observa aumento de presión en los peines.
- Se tienen vórtices bajos en la zona del tambor debido principalmente a que el aire llega a baja velocidad, es decir, el aire se encuentre recirculando en estos puntos pero con actividad baja o imperceptible, también se tienen vórtices en la zona de la cúpula con valores de 73.576 a 143.814 Hz.
- Este análisis es el más apegado a las condiciones reales debido a que se ha introducido el caudal de flujo de 1.539 CFM en la descarga del ventilador, dato que se obtuvo de la Tabla 3.
- **Propuesta de modificación:**
  - Para dirigir el caudal de aire que sale del ventilador hacia los orificios de la base del cono, se propone crear un deflector para que el aire se concentre sobre los orificios y no se desvíe hacia otra sección.

## 2.7 Caracterización de flujo en prototipo 2

En este apartado se realizan los análisis de fluido para poder visualizar la distribución de la velocidad del aire, efectos sobre niveles de presión, flujos volumétricos y vórtices.

Las simulaciones del prototipo 2 se definen de la siguiente manera:

➤ **Análisis 1, prototipo 2**

- A) Análisis de fluido considerando la geometría existente utilizando como condición inicial los 400 rad/s nominales del motor para determinar velocidades de salida, flujos volumétricos, a la descarga del ventilador radial. **(CFD, 2, EX-A)**
- B) Análisis de fluido considerando la geometría existente utilizando como condición inicial los 400 rad/s nominales del motor para determinar velocidades de salida, flujos volumétricos, distribución de presiones y vórtices en el ensamble general. **(CFD, 2, EX-B)**

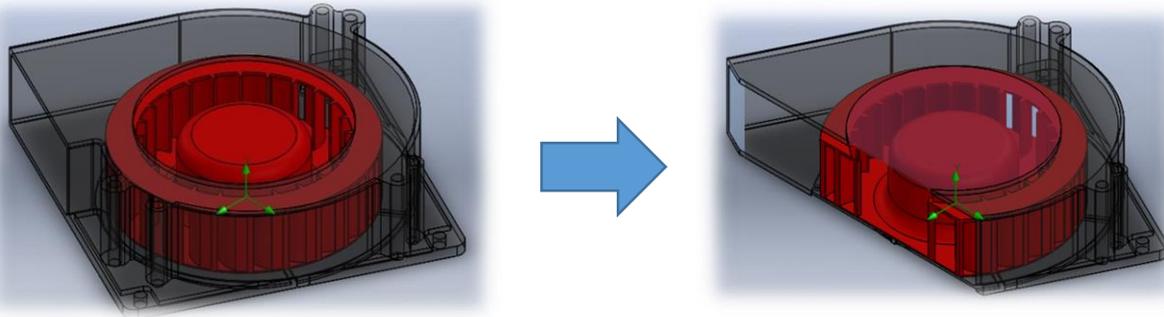
➤ **Análisis 2, prototipo 2**

- A) Análisis de fluido considerando geometría existente comparativa proponiendo el flujo volumétrico ideal de **33.1 CFM** en la descarga del ventilador, para determinar las velocidades del aire en el tambor, distribución de presiones y vórtices. **(CFD, 2, EXC-A)**

### **Análisis 1, prototipo 2**

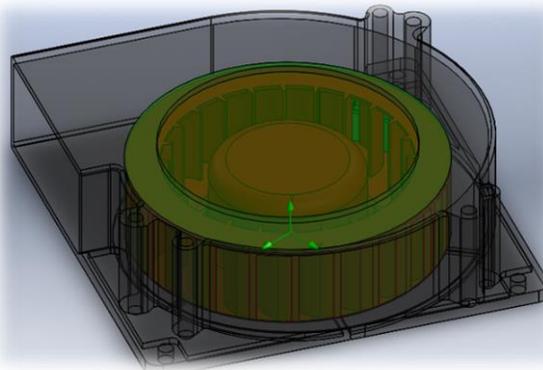
- A) Análisis de fluido considerando la geometría existente utilizando como condición inicial los 400 rad/s nominales del motor para determinar velocidades de salida, flujos volumétricos, a la descarga del ventilador radial. **(CFD, 2, EX-A)**

Se cambia a transparencia para poder visualizar con mayor detenimiento los elementos del ventilador; el siguiente paso es crear las tapas que servirán para determinar los límites para el análisis, Imagen 106.

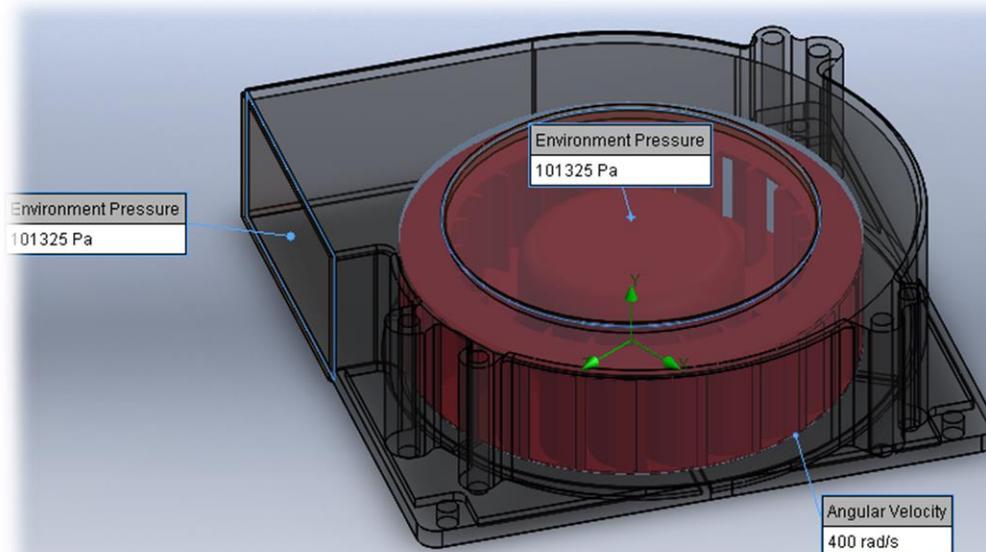


*Imagen 106 Creación de caras en el ventilador.*

El siguiente paso es crear una región rotativa para las aspas del ventilador.

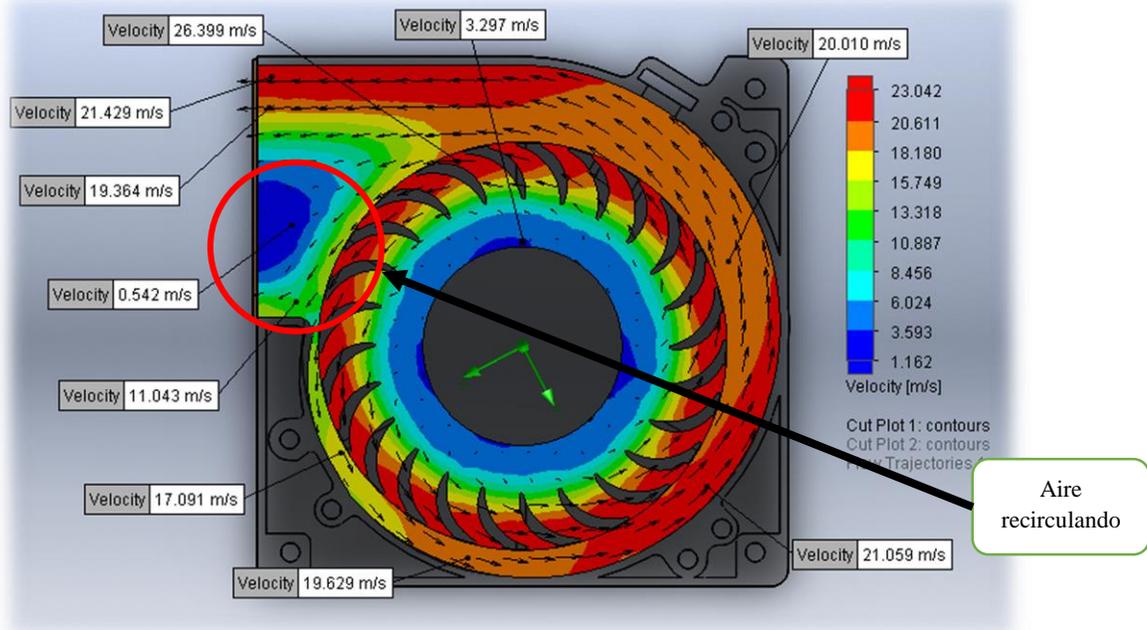


*Imagen 107 Creación de la región rotativa.*



*Imagen 108 Colocacion de las condiciones atmosfericas y RPM del motor.*

Como último paso se seleccionan las caras internas de las tapas y se indica al software que estarán sometidas a la presión atmosférica, posteriormente se selecciona la región rotativa y se le asigna que gira a 400 rad/s (3800 RPM). Luego se inician los cálculos y al finalizar se obtienen los siguientes resultados:



*Imagen 109 Corte de velocidades 1 con vectores dirección.*

Mediante este corte de distribución de velocidades (Imagen 109) de una vista superior se pueden ver las diferentes velocidades que el aire alcanza en la carcasa del ventilador, es notable que en esta sección se tienen velocidades máximas de 23 a 26 m/s en los alabes y mínimas de 3.297 m/s en el centro de las aspas.

A medida que el aire se desplaza por la voluta del ventilador va aumentando gradualmente de velocidad, hasta estabilizarse en la salida en 18 a 21 m/s, además nótese que en el centro de la descarga del ventilador no se tiene un gran flujo de aire, en la zona de color azul; además los vectores dirección indican que parte del aire no está saliendo por la descarga del ventilador sino que se está recirculando hacia el impulsor.

En la Imagen 110 se logra apreciar la trayectoria del aire en el ventilador, la zona azul en el centro representa la succión, con una velocidad de 1.463 m/s.

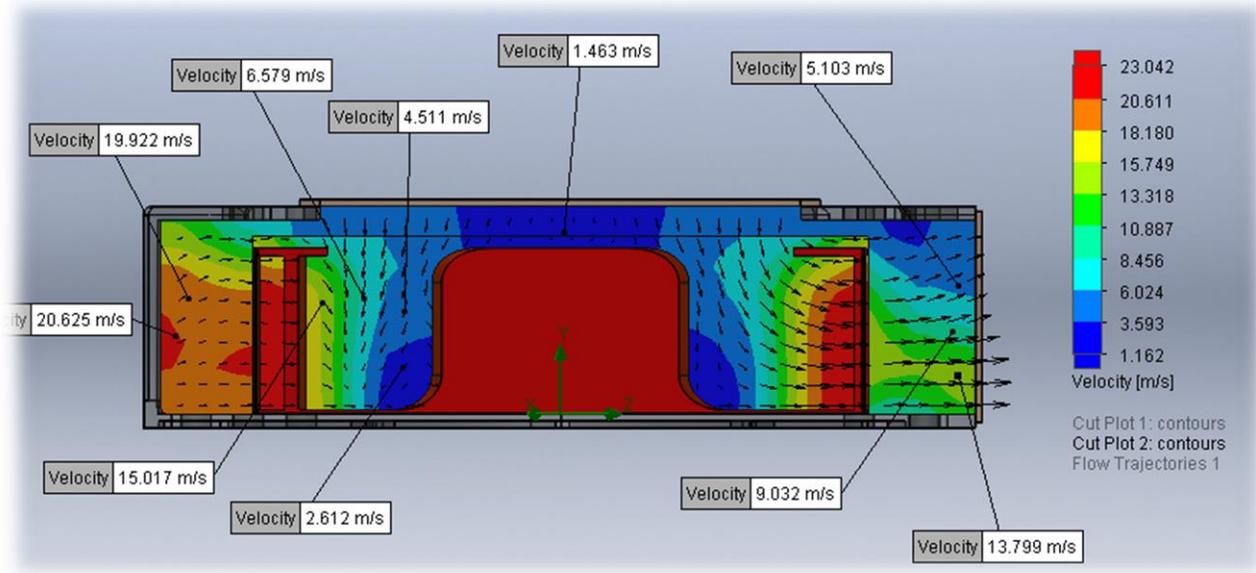


Imagen 110 Corte de velocidades 2 con vectores dirección.

A continuación se muestra las trayectorias del fluido mediante la cual se puede apreciar el recorrido del aire desde la succión, los alabes y la descarga del ventilador; en la Imagen 112 se tiene una pequeña recirculación de aire en esta zona.

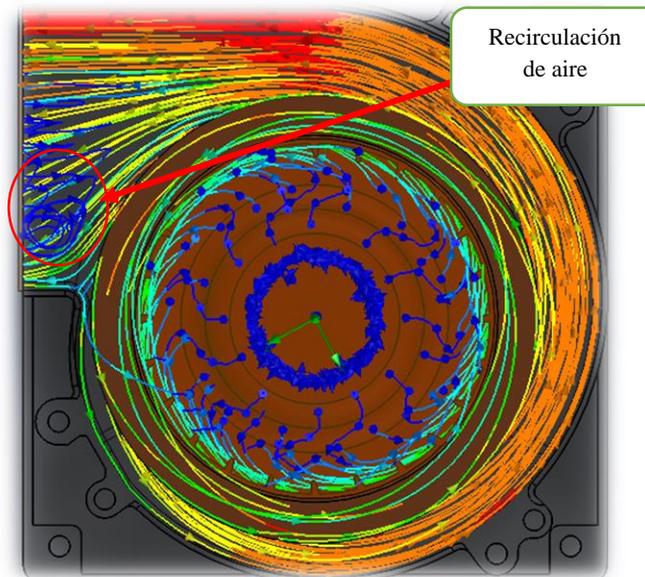
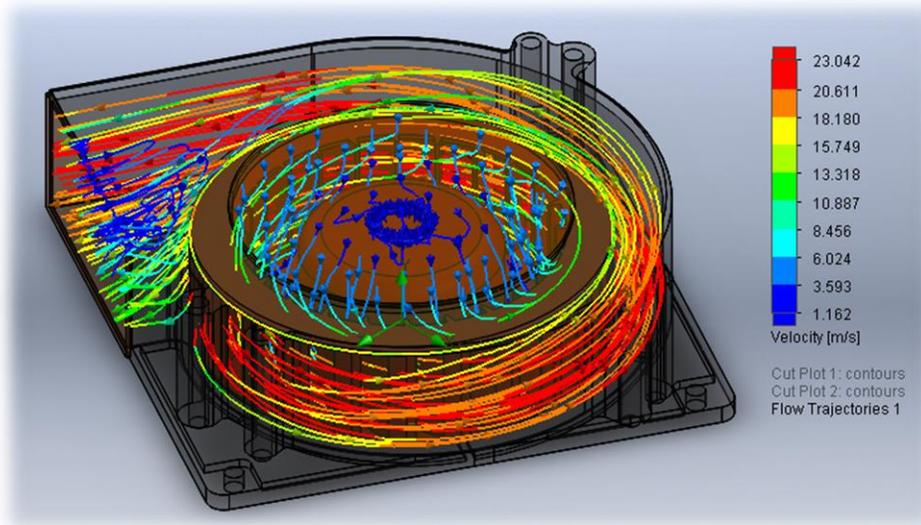
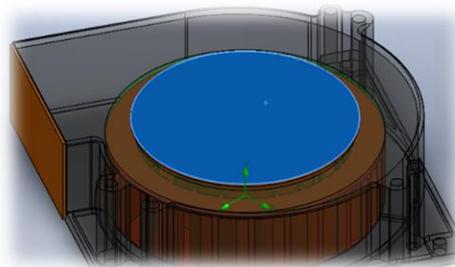


Imagen 111 Trayectoria de fluido, vista superior.



*Imagen 112 Trayectoria de fluido, vista isométrica.*

Por último se calculan los flujos volumétricos en la entrada y salidas del ventilador mediante la herramienta Surface Parameters.

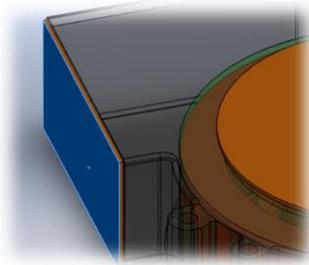


*Imagen 113 Flujo volumétrico a la entrada del ventilador.*

*Tabla 6 Parámetros a la entrada del ventilador.*

<i>Local parameters</i>					
Parameter	Minimum	Maximum	Average	Bulk Average	Surface Area [m <sup>2</sup> ]
Pressure [Pa]	101044.728	101325	101224.75	101209.432	0.001256069
Velocity [m/s]	0.890291955	21.5988267	12.3785413	13.537717	0.001256069
<i>Integral parameters</i>					
Parameter	Value	X-component	Y-component	Z-component	Surface Area [m <sup>2</sup> ]
Mass Flow Rate [kg/s]	0.018562602				0.001256069
Volume Flow Rate [m <sup>3</sup> /s]	0.015439329				0.001256069

Mediante estas tablas generadas por SolidWorks se tiene que el flujo volumétrico a la entrada del ventilador es de 0.01544 m<sup>3</sup>/s, equivalente a 32.72 CFM.



*Imagen 114 Flujo volumétrico a la salida del ventilador.*

*Tabla 7 Parámetros a la salida del ventilador.*

<i>Local parameters</i>					
Parameter	Minimum	Maximum	Average	Bulk Average	Surface Area [m <sup>2</sup> ]
Pressure [Pa]	101233.849	101325	101312.774	101319.78	0.001046447
Velocity [m/s]	0.305091849	55.3601456	26.5043117	38.8375428	0.001046447
<i>Integral parameters</i>					
Parameter	Value	X-component	Y-component	Z-component	Surface Area [m <sup>2</sup> ]
Mass Flow Rate [kg/s]	-0.018555331				0.001046447
Volume Flow Rate [m <sup>3</sup> /s]	-0.015530549				0.001046447

Se tiene que el flujo volumétrico a la salida del ventilador es de 0.01553 m<sup>3</sup>/s en dirección negativa, el signo solo indica que el aire sale, equivalente a 32.91 CFM.

En conclusión para este análisis se tiene:

- El ventilador funciona de manera correcta, succionando el aire de la parte superior y expulsándolo en la descarga del mismo; sin embargo, en la descarga del ventilador está entrando aire, lo cual es causado por el mismo impulsor y la geometría de la carcasa, ya que genera una presión negativa en esta zona.
- Las velocidades de salida rondan de 0.305 a 55.36 m/s, según Tabla 7 con un promedio de aproximadamente 26.5 m/s.
- El flujo volumétrico a la entrada respecto a la salida son similares, se alcanza aproximadamente el flujo necesario de 33.1 CFM.

**Análisis 1, prototipo 2**

B) Análisis de fluido considerando la geometría existente utilizando como condición inicial los 400 rad/s nominales del motor para determinar velocidades de salida, flujos volumétricos, distribución de presiones y vórtices en el ensamble general. (CFD, 2, EX-A)

Como primer paso es crear las tapas que servirán para determinar la entrada y salida del aire para el análisis, (Imagen 115).

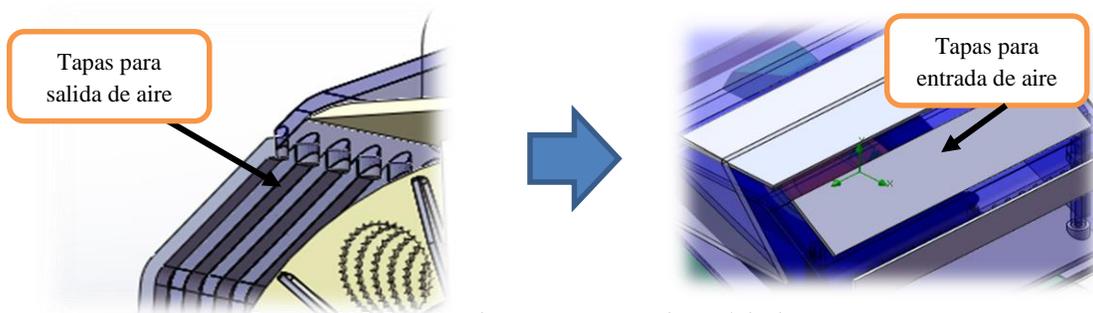


Imagen 115 Creación de tapas para entrada y salida de aire.

Como siguiente paso es seleccionar las caras que estarán sometidas a la presión atmosférica, además de una región rotativa para las aspas del ventilador (Imagen 116), servirá para determinar el volumen que delimita el dominio de rotación. Después de esto se corre el software para visualizar los resultados:

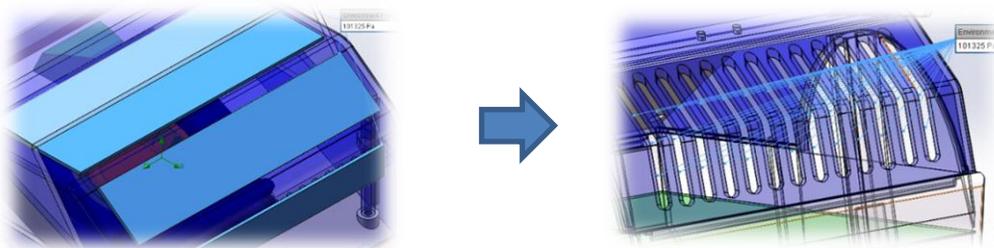
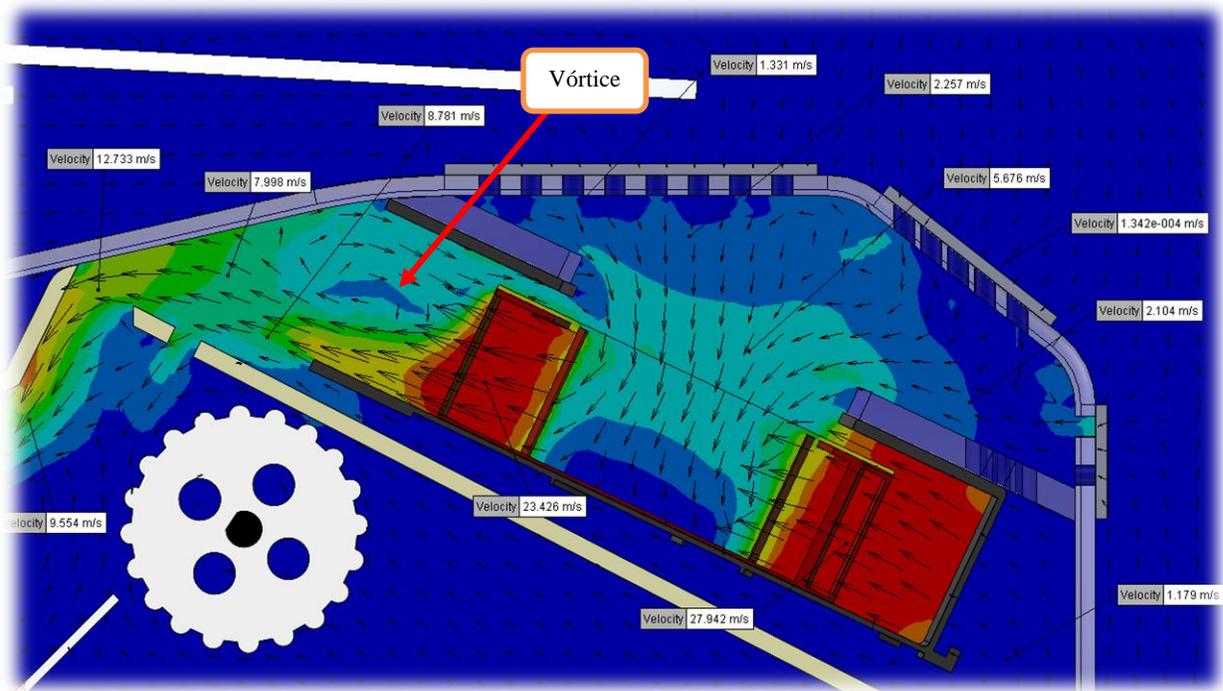


Imagen 116 Caras sometidas a presión atmosférica.

Mediante este gráfico de distribución de velocidades en la zona media, (Imagen 117), se pueden ver las velocidades que el aire alcanza dentro del ensamble general, en esta sección se tienen velocidades máximas de 23.426 a 27.942 m/s en el impulsor del ventilador.

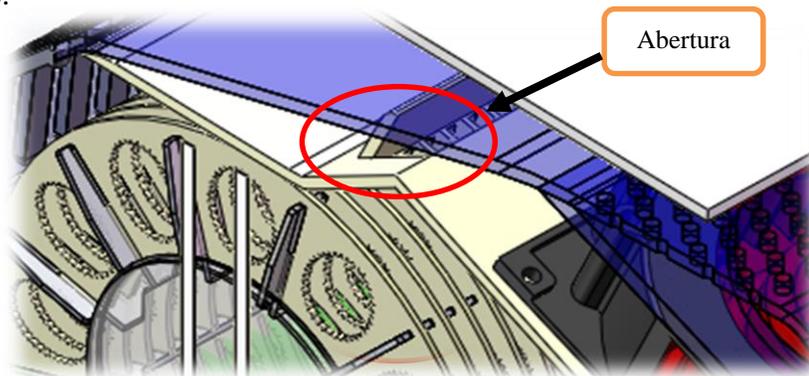
En la succión se tiene una velocidad de 2.257 a 5.676 m/s pasando por los barrenos del contenedor superior hasta el ojo del impulsor en el ventilador.



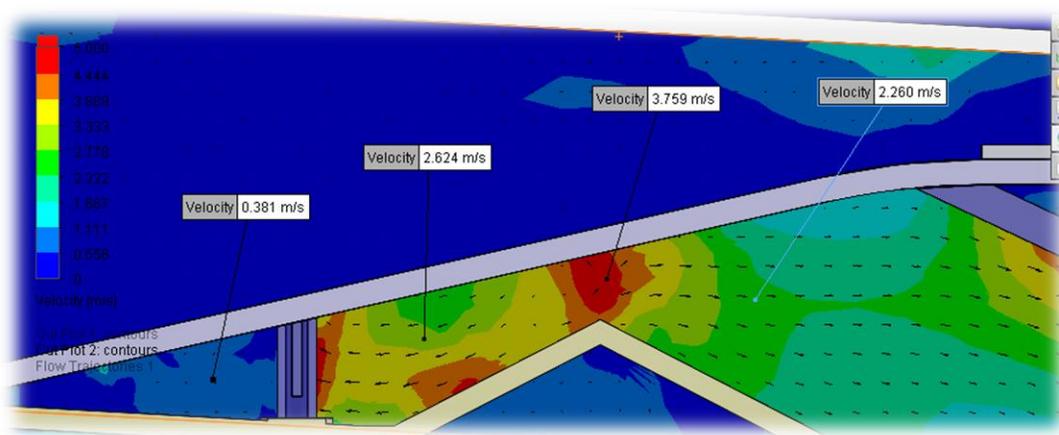
*Imagen 117 Distribución de velocidades en la zona media del ensamble general, en la sección del ventilador radial.*

El vórtice que se observa en la Imagen 117, se genera cuando el aire que sale del ventilador choca con la pared del contenedor superior y le provoca una recirculación, debido a que pasa por una región reducida con una mayor dificultad para su avance.

Posterior a que el aire sale del ventilador a una velocidad de 8.71 m/s se dirige hacia el deflector llegando a los abanicos, pero una parte escapa por las aberturas que se pueden notar en la Imagen 118.



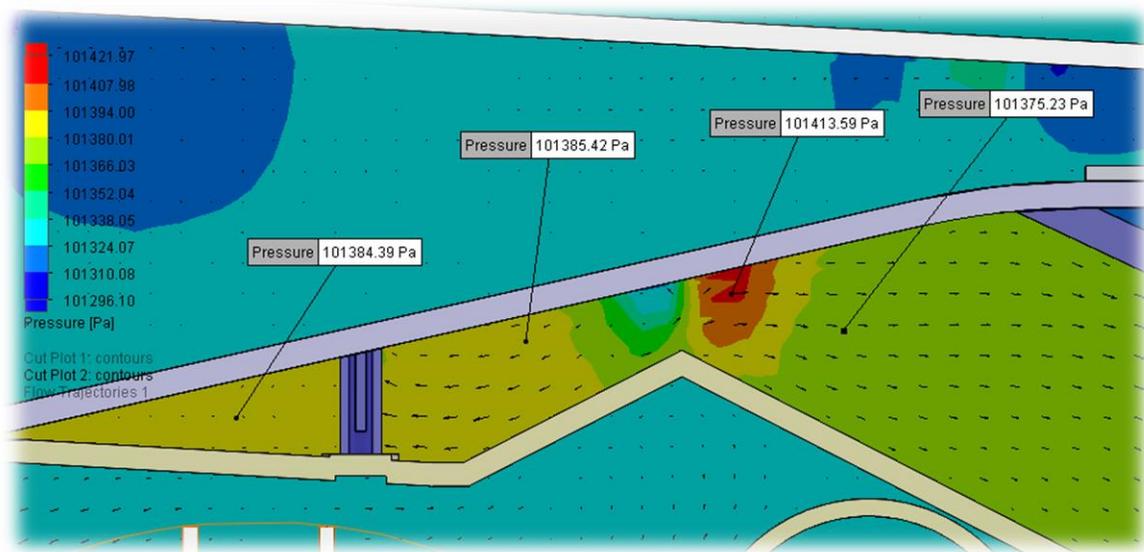
*Imagen 118 Abertura en del deflector interior.*



*Imagen 119 Velocidades en la zona de abertura del deflector interior.*

En la zona donde se localiza la abertura del deflector interior, el aire se encuentra recirculando (Imagen 119). Nótese que se pierde una parte del caudal al escaparse por estas aberturas, cuando se podría aprovechar mejor dirigiéndolo hacia los abanicos del tambor.

La Imagen 120 muestra las presiones que se generan en la zona de abertura, estas son bastante homogéneas dentro de la misma, rondando valores de 101384 Pa.



*Imagen 120 Presiones generadas en la zona de la abertura.*

Solo se nota un pequeño aumento de presión al golpear el aire en la cara interior del contenedor superior, con un valor de 101413 Pa.

Esto se produce principalmente a que el aire al tener cierta velocidad y chocar contra una superficie sólida, genera un aumento de presión en la zona de contacto, lo que se conoce comúnmente como presión dinámica, que es: *“La presión dinámica indica la cantidad de la presión total que guarda relación con la velocidad del fluido.”*

Dicho de otra manera es la presión que se genera por el empuje de un fluido sobre las paredes que lo contiene al tener una velocidad de desplazamiento.

En la Imagen 121 se observa la desviación del flujo de aire por la zona periférica del deflector interior y muy poco logra entrar en la zona de los abanicos.

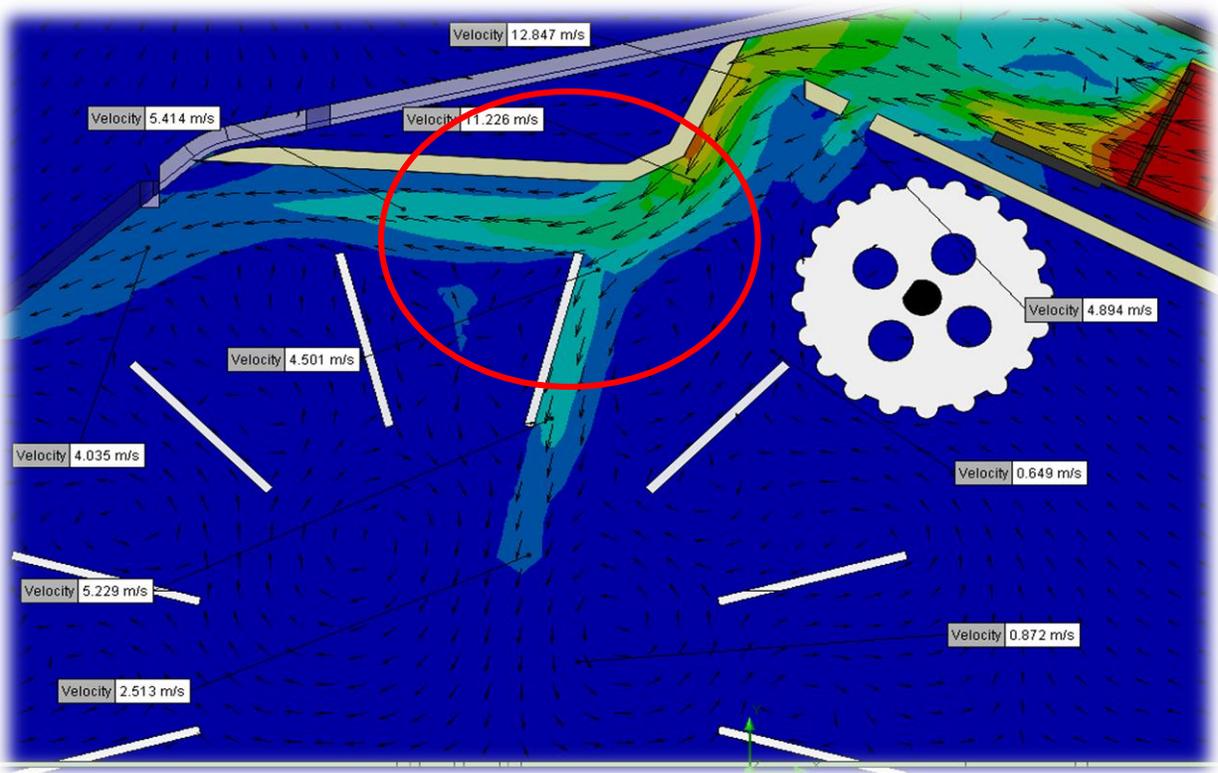
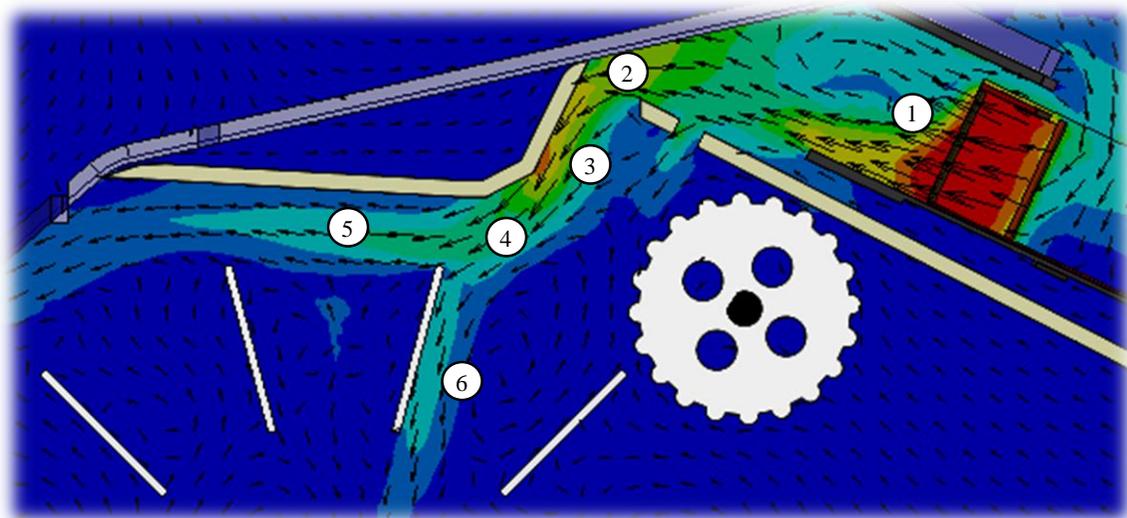


Imagen 121 Corte de velocidades en la zona central del ensamble general.

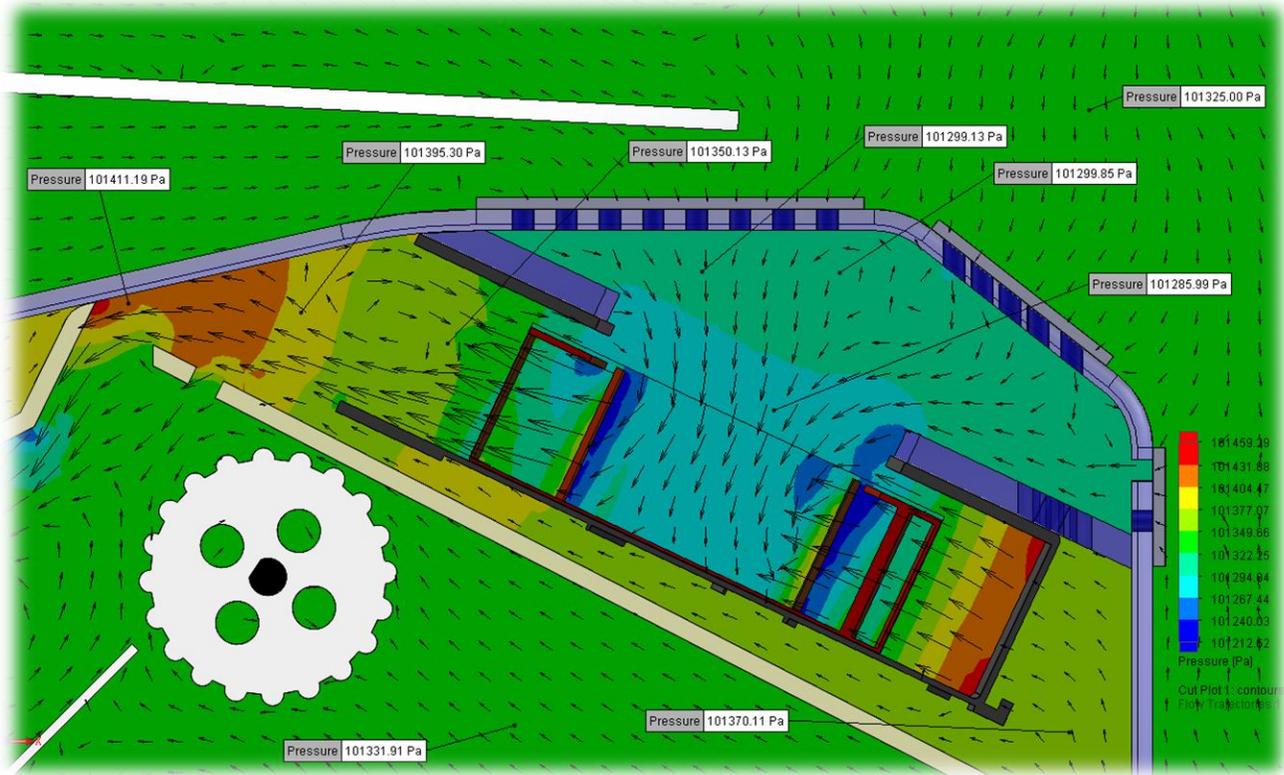
Esto se debe principalmente a:

- ① El aire al salir del impulsor tiene una componente vectorial que es normal al conducto de descarga.
- ② Se dirige con una velocidad de 12.8 m/s llegando hasta el deflector.
- ③ Posteriormente, al chocar contra el deflector esta componente cambia hacia una dirección paralela a la cara del mismo.
- ④ El flujo de aire se desplaza a lo largo del deflector hasta el punto en donde éste termina.
- ⑤ Cuando el aire se encuentra en una zona donde no se le conduce, éste se direcciona por donde hay menos resistencia (la parte superior de los abanicos) desperdiciándose aproximadamente un 70% del flujo total.
- ⑥ Se estima que el 30% de flujo de aire logra pasar por el tambor.



*Imagen 122 Trayectoria del aire por el deflector.*

A continuación se observan las presiones generadas en la zona central del ensamble general (Imagen 123), en la succión y descarga del ventilador.

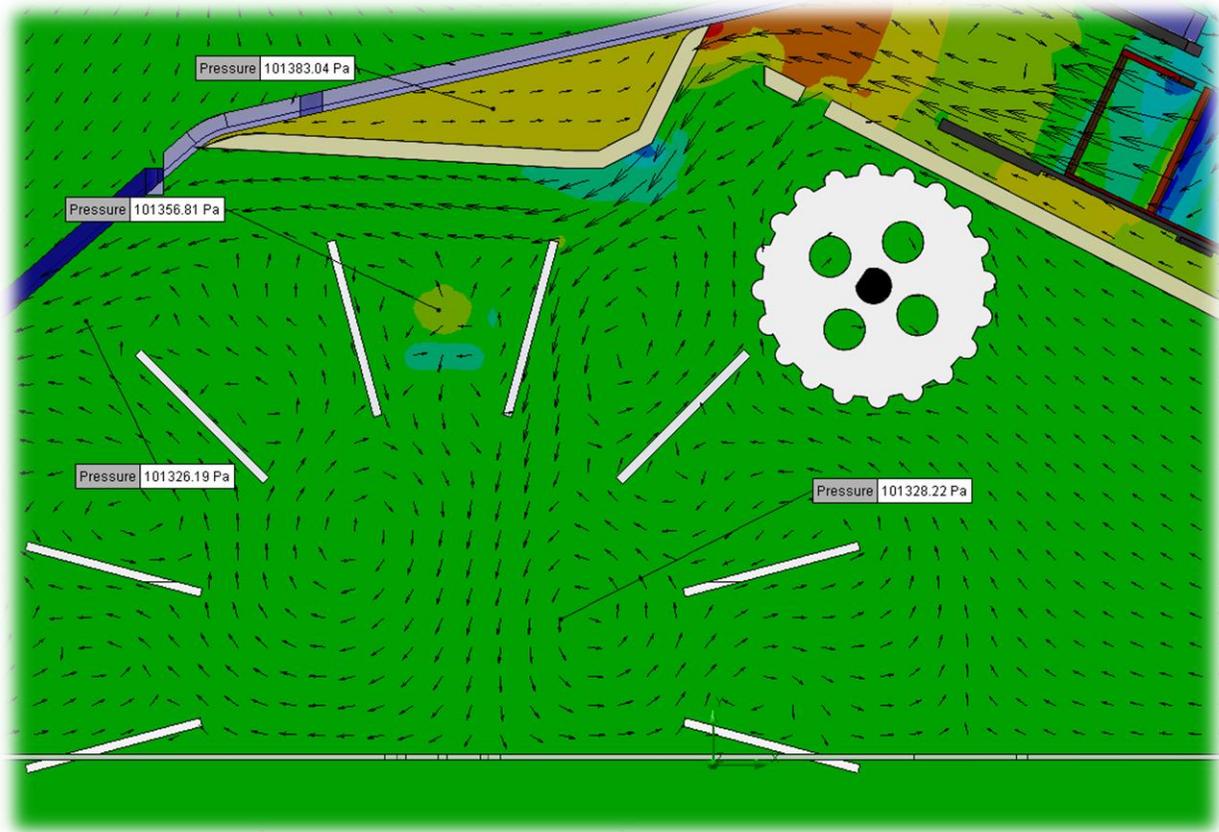


*Imagen 123 Presiones generadas en la zona central del ensamble general.*

En la succión dentro del ensamble se nota una presión de 101299 Pa, es decir una presión de 24 Pa por debajo de la atmosférica, lo cual representa el funcionamiento correcto del ventilador para poder generar una succión del aire.

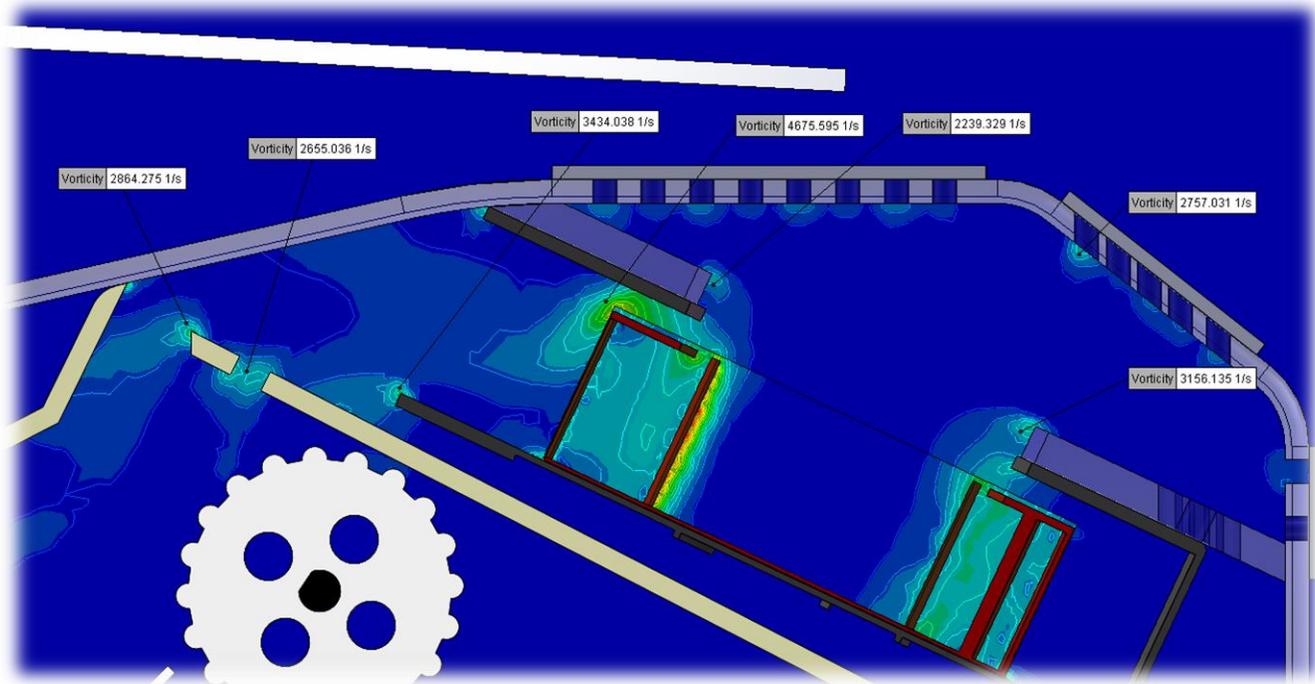
Después el aire sale del ventilador con una presión aproximada de 101350 Pa; a medida que se va desplazando hacia el deflector se puede observar que la presión va aumentando; la razón de esto es debido a la velocidad del mismo fluido y el choque con las paredes, lo que se explicó anteriormente como presión dinámica.

A continuación se observan las presiones en el resto del ensamble (Imagen 124), como se puede notar la presión es homogénea en todo el corte, de alrededor de 101326-101328 Pa, solo teniendo un aumento de presión en la zona media entre dos peines de: 101356 Pa.

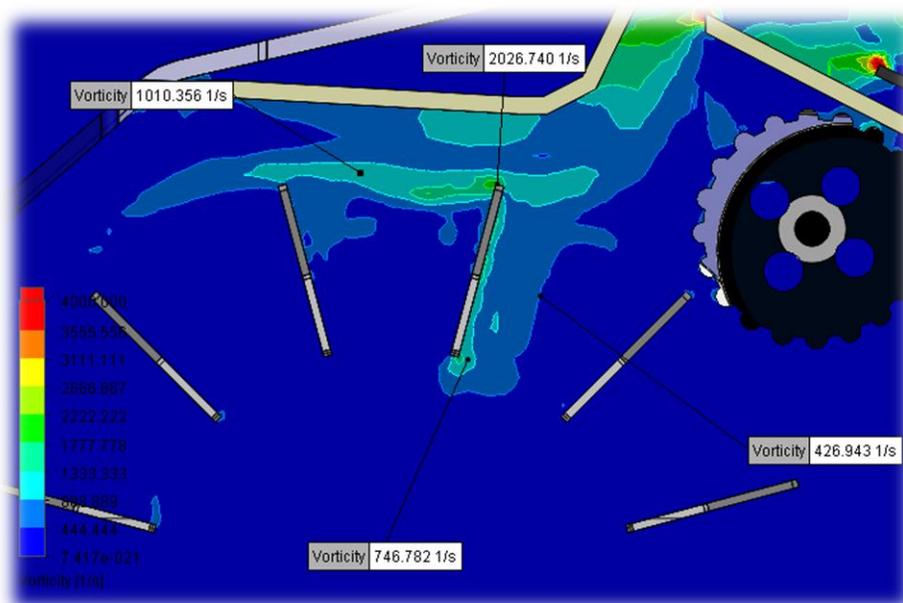


*Imagen 124 Distribución de presiones en el ensamble general, zona de abanicos.*

Vórtices generados en la zona del ventilador (Imagen 125), en esta parte se tienen vórtices en las esquinas del ventilador, en la zona de descarga de aire y al entrar por la succión, con valores de 3434 Hz y 4675 Hz respectivamente.

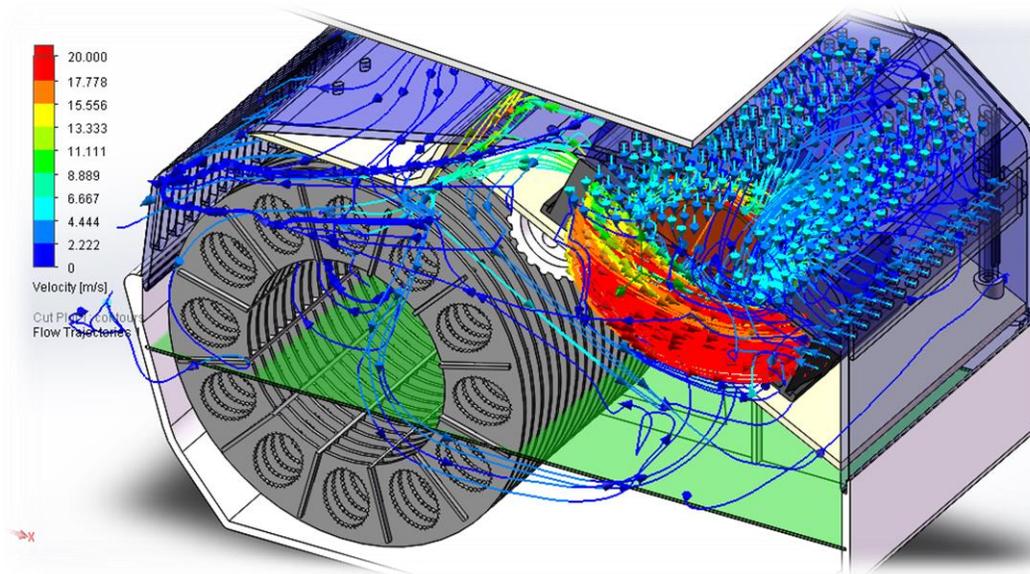


*Imagen 125 Vórtices generados en el ventilador.*

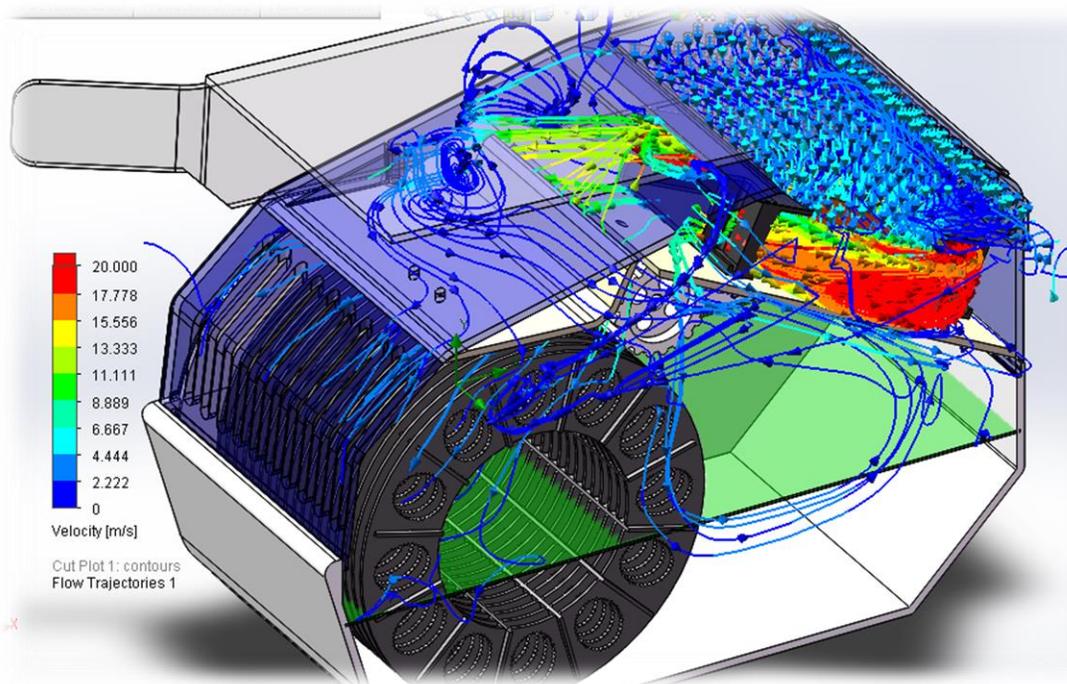


*Imagen 126 Vórtices generados en la zona de abanicos.*

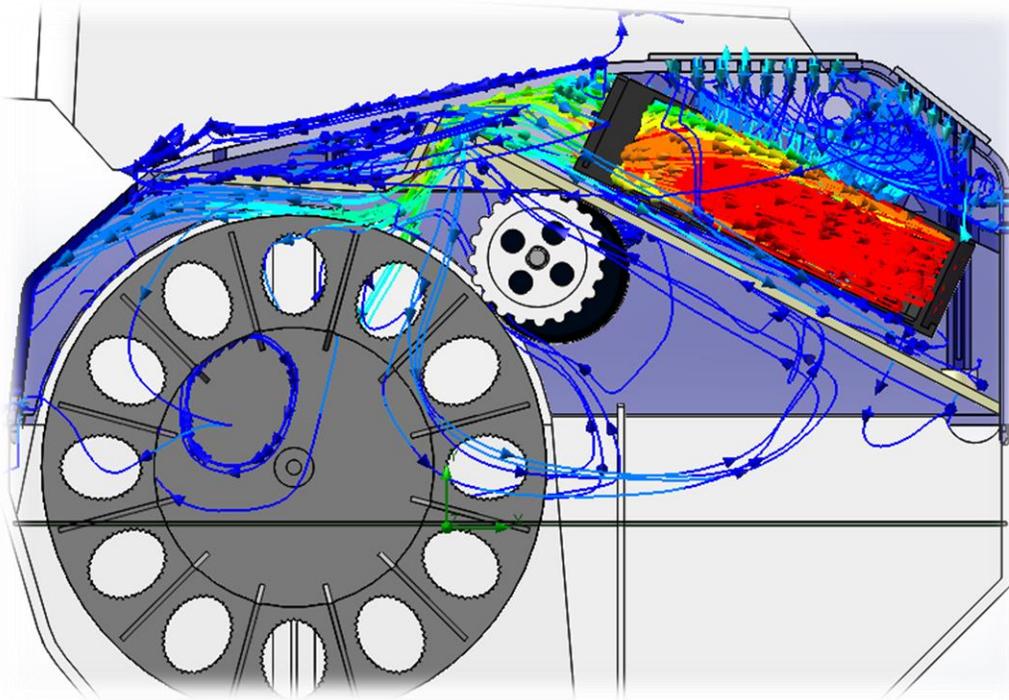
A continuación se muestran las trayectorias del fluido en su recorrido al interior del prototipo.



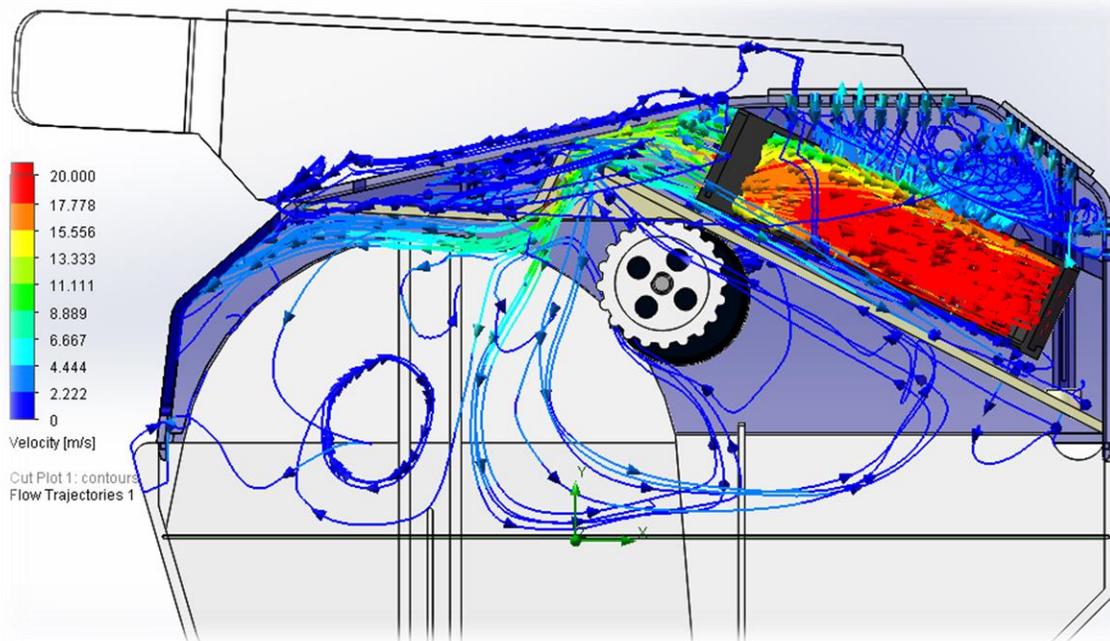
*Imagen 127 Trayectoria de fluido 1, prototipo 2 en vista isométrica.*



*Imagen 128 Trayectoria de fluido 2, prototipo 2 en vista isométrica.*

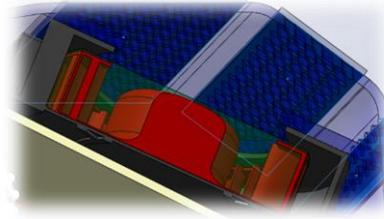


*Imagen 129 Trayectoria de fluido 3, con tambor en vista frontal.*



*Imagen 130 Trayectoria de fluido 4, sin tambor en vista frontal.*

Para finalizar se calculan los flujos volumétricos a la entrada y salidas para el aire del ensamble general.

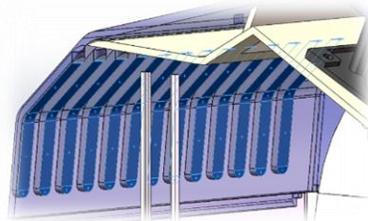


*Imagen 131 Caras para entrada de aire.*

*Tabla 8 Parámetros a la entrada del ensamble general.*

<i>Local parameters</i>					
Parameter	Minimum	Maximum	Average	Bulk Average	Surface Area [m <sup>2</sup> ]
Pressure [Pa]	101269.491	101327.505	101310.846	101308.532	0.002544034
Velocity [m/s]	0.000168125	9.6053124	4.60499405	5.10816193	0.002544034
<i>Integral parameters</i>					
Parameter	Value	X- component	Y- component	Z- component	Surface Area [m <sup>2</sup> ]
Mass Flow Rate [kg/s]	0.014080325				0.002544034
Volume Flow Rate [m <sup>3</sup> /s]	0.011699391				0.002544034

Por medio de las tablas generadas en SolidWorks se tiene que el flujo volumétrico a la entrada del ventilador es de 0.0117m<sup>3</sup>/s, equivalente a 24.79 CFM



*Imagen 132 Caras para salida de aire.*

*Tabla 9 Parámetros a la salida del ensamble general.*

<i>Local parameters</i>					
Parameter	Minimum	Maximum	Average	Bulk Average	Surface Area [m <sup>2</sup> ]
Pressure [Pa]	101226.274	101382.951	101324.988	101324.985	0.010389959
Velocity [m/s]	0	8.42047234	2.35761638	2.69970557	0.010389959
<i>Integral parameters</i>					
Parameter	Value	X- component	Y- component	Z- component	Surface Area [m <sup>2</sup> ]
Mass Flow Rate [kg/s]	-0.01393976				0.010134386
Volume Flow Rate [m <sup>3</sup> /s]	-0.011598212				0.010134386

Se tiene que el flujo volumétrico a la salida del ventilador es de  $0.0116 \text{ m}^3/\text{s}$  en dirección inversa, (el signo indica que el aire sale), equivalente a 24.58 CFM.

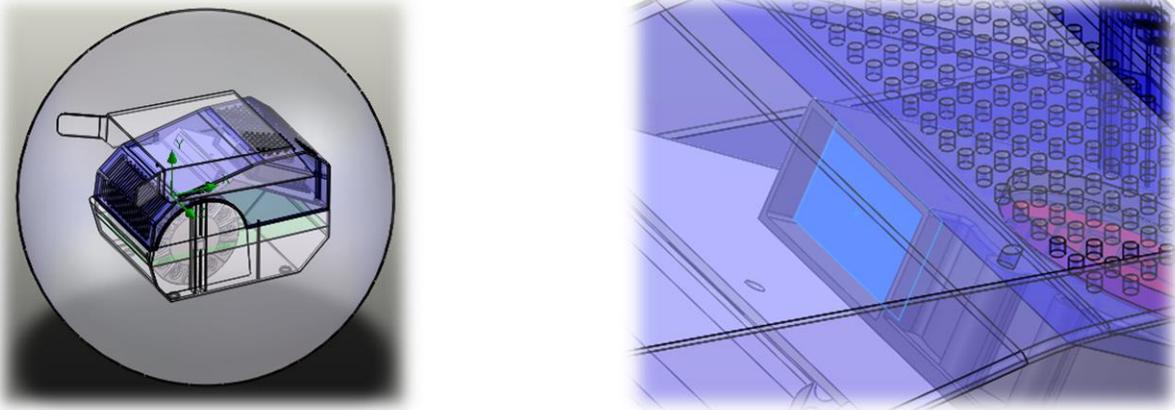
Resumen para el análisis:

- El ventilador funciona de la siguiente manera, succionando el aire desde el contenedor superior, pasando a través de los barrenos y expulsándolo en la descarga del ventilador.
- Las velocidades en la entrada en los barrenos son aproximadamente de 0 a 9.6 m/s, con un promedio de 4.604 m/s (Tabla 8) y a la salida de 0 a 8.42 m/s, con un promedio de 2.357 m/s (Tabla 9).
- El flujo volumétrico a la entrada respecto a la salida son muy similares (24.58 a 24.6 CFM) a pesar de tener las restricciones para el flujo provocado por los barrenos del contenedor superior; pero no se alcanza el flujo necesario de 33.1 CFM. Estos barrenos provocan una menor succión del aire ya que están actuando como un filtro.
- Nótese que no todo el aire pasa a través de los abanicos, sino que una parte del mismo es desviado por la geometría del deflector interior, provocando una desviación de aire cercano al 65-70%
- Los vórtices generados en la zona de los peines, (Imagen 126), provocan que el aire se encuentre recirculando en estos puntos, esto puede resultar benéfico ya que se requiere que el fluido que pase por los abanicos sea de régimen turbulento; y esto es lo que representan los valores de vorticidad, un flujo turbulento en rotación espiral.
- **Propuesta de modificación geométrica:**
  - Una forma de poder tener una mayor succión es cambiar los barrenos por ranuras y de esta manera aumentar el área en la entrada del aire.
  - Para evitar que el aire se escape por las aberturas es recomendable cerrar completamente los espacios abiertos, además de considerar un deflector más grande y así el aire sea conducido al interior del tambor.

**Análisis 2, prototipo 2.**

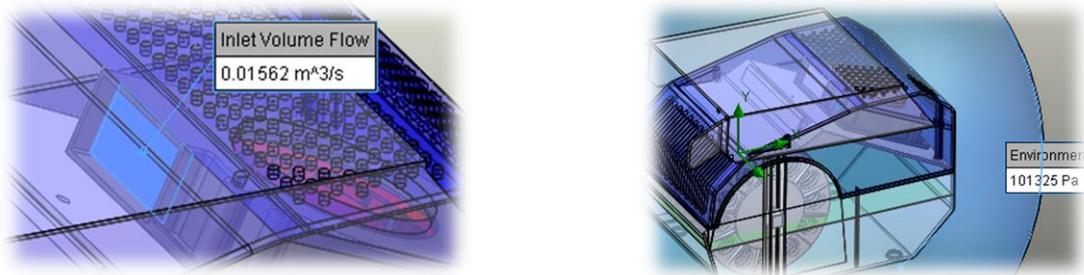
A) Análisis de fluido considerando *geometría existente comparativa* proponiendo el flujo volumétrico ideal de **33.1 CFM** en la descarga del ventilador, para determinar las velocidades del aire en el tambor, distribución de presiones y vórtices. **(CFD, 2, EXC-A)**

Como primer paso es crear las tapas que servirán para determinar la entrada del aire para el análisis y además crear el espacio sometido a la presión atmosférica, Imagen 133. La entrada de aire será en la descarga del ventilador, por este pasan los 33.1 CFM (0.01562 m<sup>3</sup>/s).



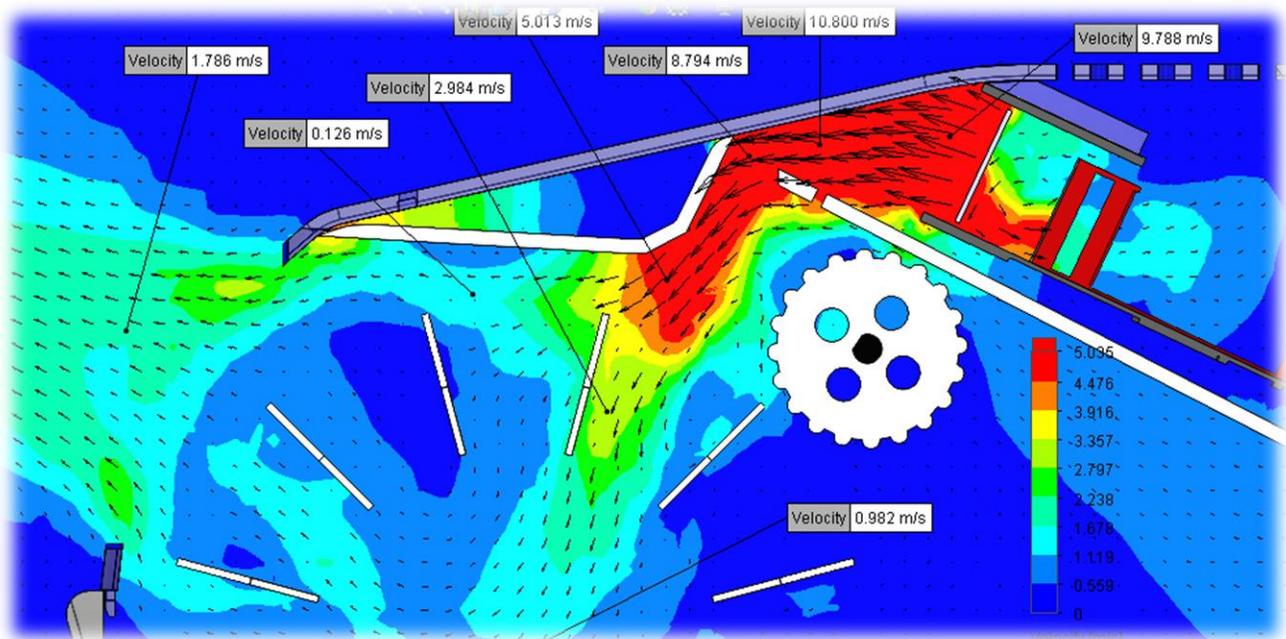
*Imagen 133 Creación de la región atmosférica y salida de aire.*

Se seleccionan las caras internas y se indica al programa que estarán sometidas a la presión atmosférica y en salida del ventilador se tendrá la entrada del aire (Imagen 134), después de esto se corre el programa para visualizar los resultados:



*Imagen 134 Caras sometidas a presión atmosférica y salida de aire.*

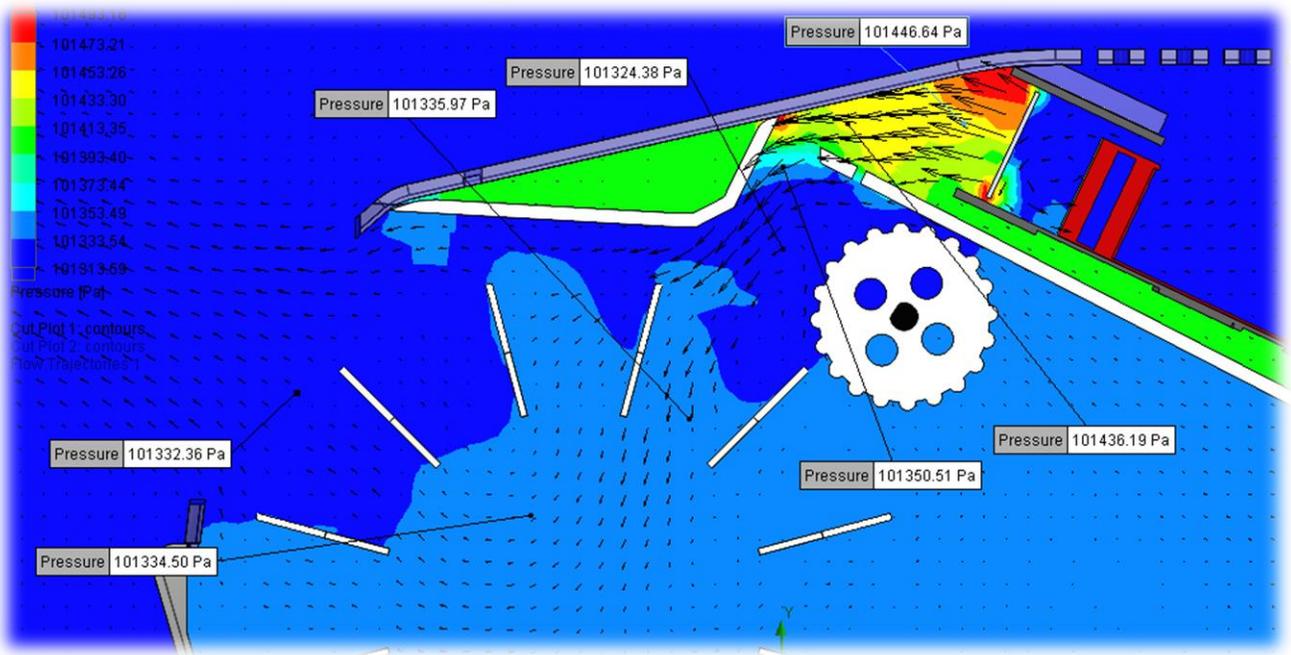
Mediante este gráfico de distribución de velocidades (Imagen 135) se pueden ver las diferentes velocidades que el aire alcanza dentro del ensamble general, en esta sección se tienen velocidades máximas de 9.788 a 10.8 m/s en la descarga del ventilador.



*Imagen 135 Distribución de velocidades en la zona media del ensamble general.*

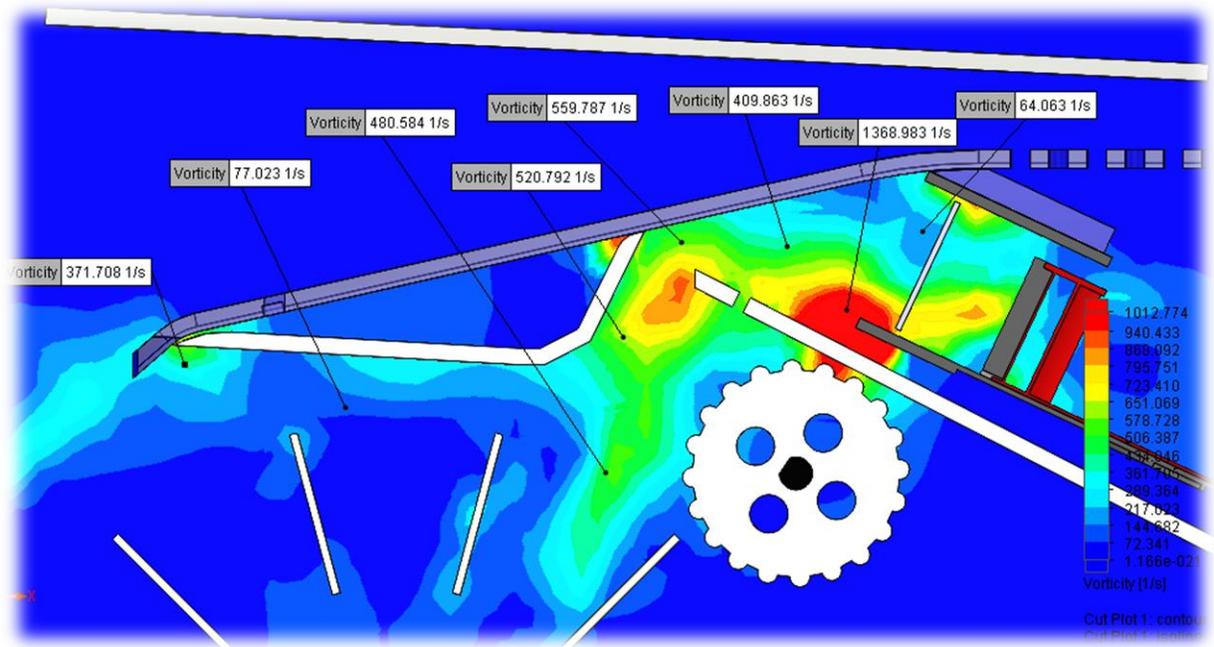
Cabe destacar que en este análisis, el aire desviado por los abanicos y peines es menor que al simularse con el ventilador, (*Análisis 1, prototipo 2- A*); esto se da principalmente a que el aire que está saliendo del ventilador se está suponiendo perfectamente distribuido en la cara de salida, además que se considera un caudal de 33.1 CFM.

A continuación se muestran las distribuciones de presiones dentro del ensamble general (Imagen 136). Las mayores presiones se observan en la descarga del ventilador y en el deflector, con valores que rondan 101436 a 101466 Pa; una vez que el aire choca en el deflector, la presión cae a un valor de 101324 y 101336 Pa, es decir, valores cercanos a la presión atmosférica.

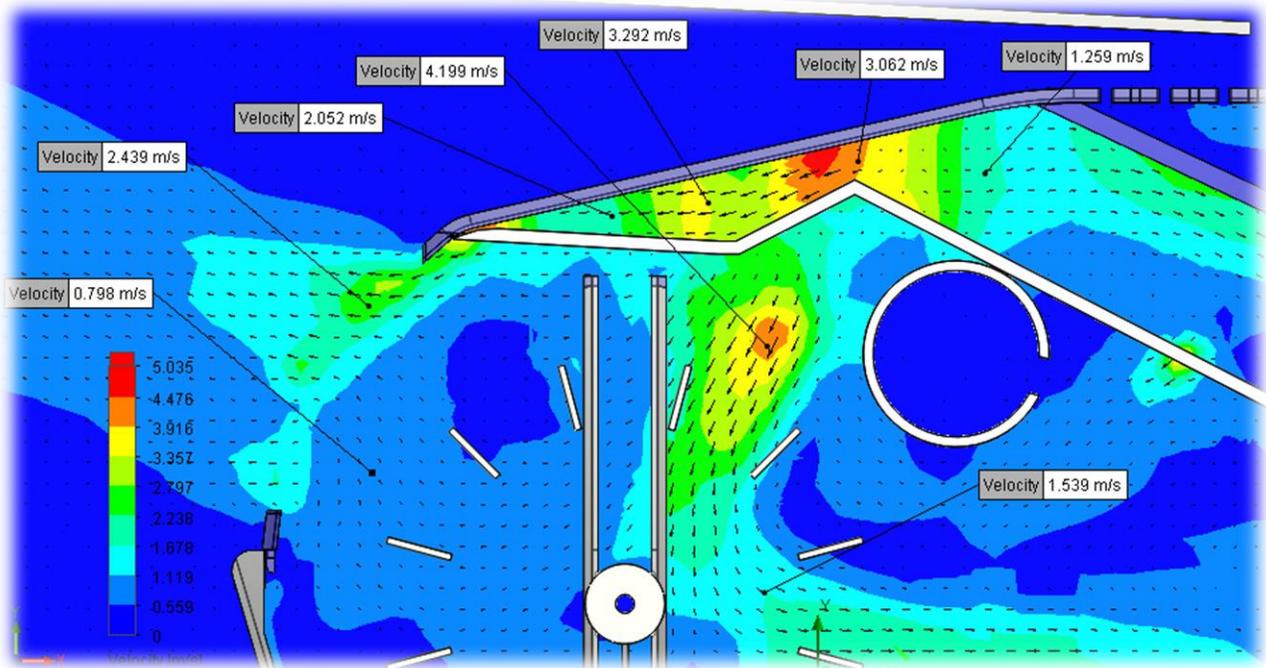


*Imagen 136 Distribución de presiones en la zona media del ensamble general, prototipo 2.*

Vórtices generados en la zona del ventilador, en esta parte se tienen vórtices en las esquinas del ventilador, en la zona de descarga de aire, al entrar por el deflector, hasta llegar a los abanicos con los valores que se visualizan en la Imagen 137.

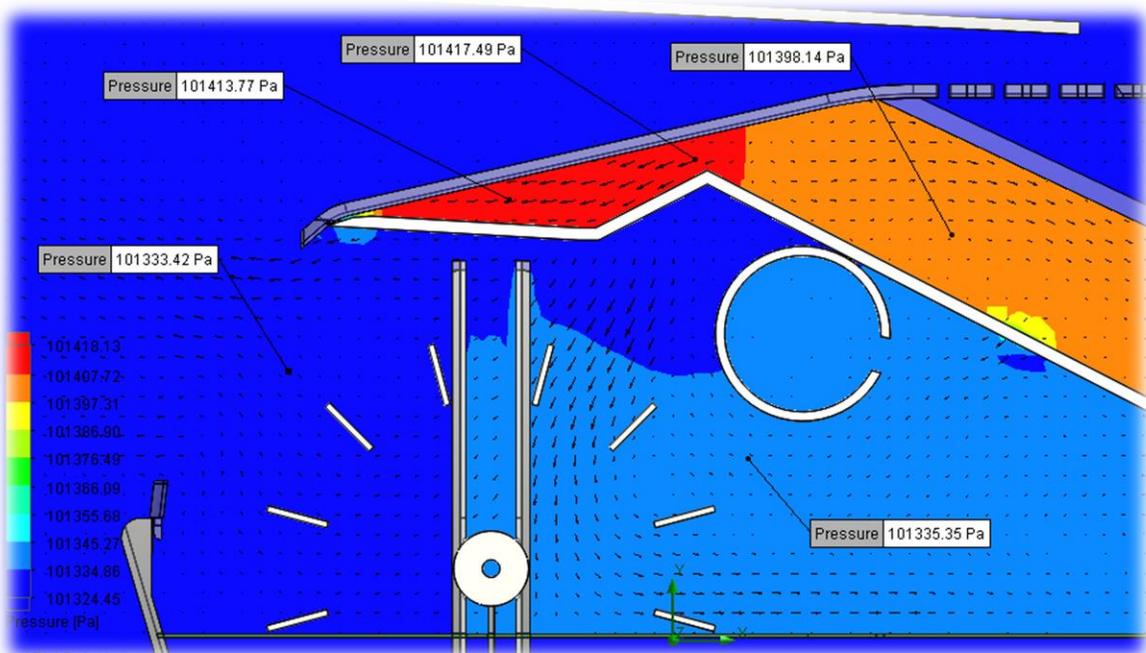


*Imagen 137 Vórtices generados en el ensamble general, prototipo 2.*



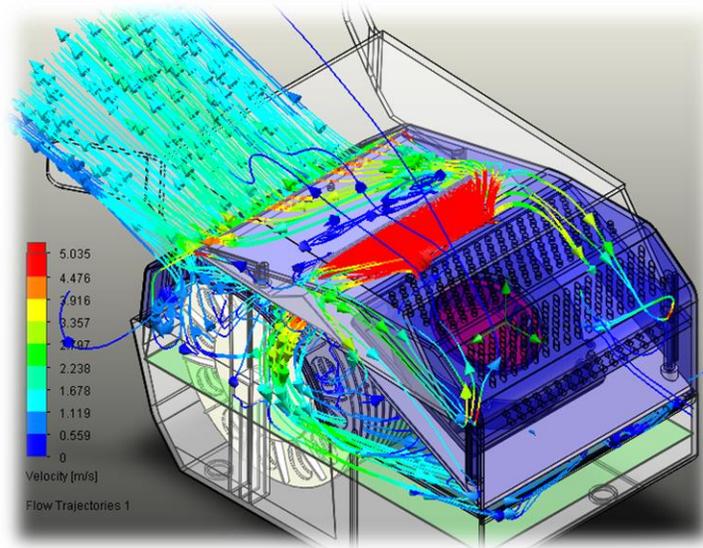
*Imagen 138 Corte de velocidades en la zona de abertura.*

En la Imagen 138 se visualizan las velocidades que alcanza el aire en la zona de abertura y la trayectoria del mismo, como se puede notar los valores rondan de 3.062 a 4.2 m/s, generándose una recirculación. La Imagen 139 muestra los valores de presión en la zona de abertura.

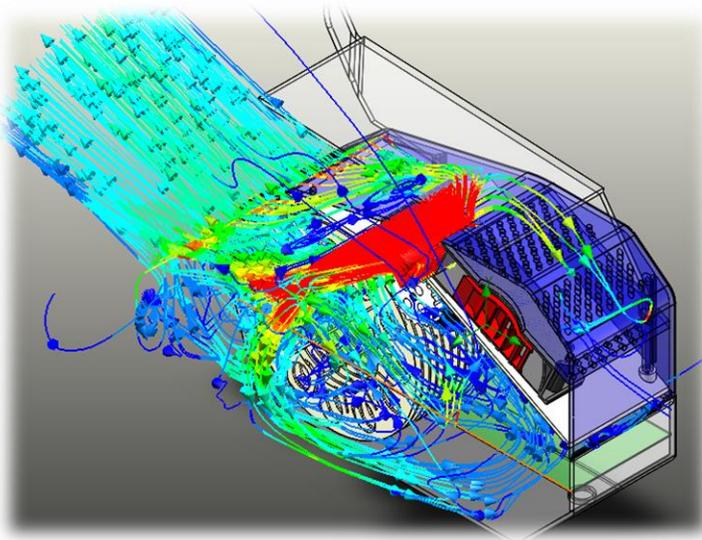


*Imagen 139 Presiones generadas en la zona de abertura, prototipo 2.*

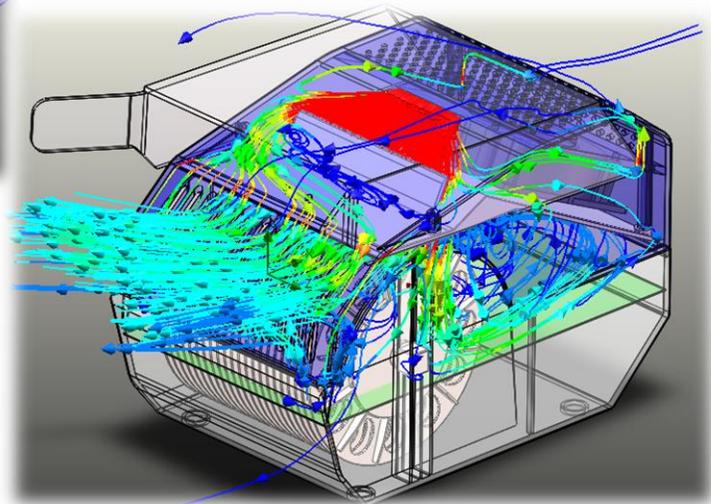
A continuación se muestran las trayectorias del fluido, desde la entrada de aire hasta su salida



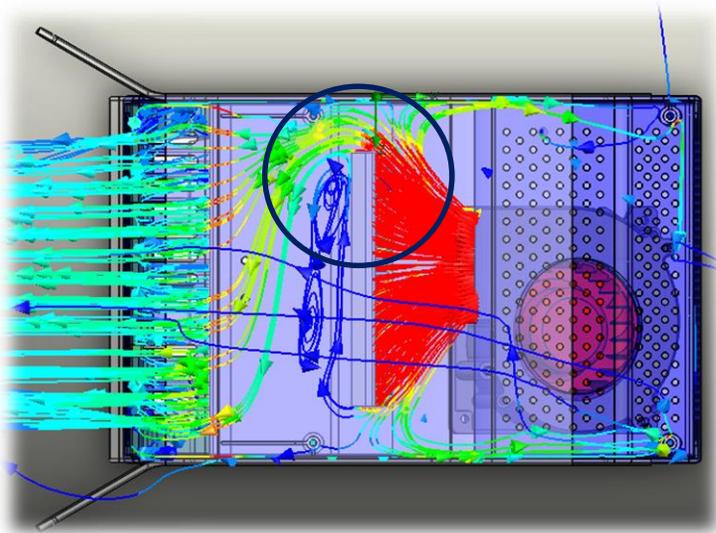
*Imagen 140 Trayectoria de fluido, vista isométrica.*



*Imagen 141 Trayectoria de fluido, vista isométrica con corte en la zona media.*



*Imagen 142 Trayectoria de fluido, vista isométrica, zona de salida de aire.*



En esta imagen se aprecia que la trayectoria del fluido tiende a entrar más por una abertura que la otra, esto es debido a que la descarga del ventilador no es esta perfectamente centrada, provocando que el flujo de aire tienda a ir más hacia un costado.

*Imagen 143 Trayectoria de fluido, vista superior.*

Resumen para el análisis:

- Las velocidades de salida rondan valores de 9.788 a 10.8 m/s, y en los abanicos con un valor cercano a 3 m/s.
- En este análisis se observó un mayor volumen de aire que pasa por los abanicos y los peines, en comparación con el *Análisis 1, prototipo 2-A*), esto se debe por que se supuso una descarga de caudal ideal de 33.1 CFM en una cara perfectamente distribuida. Para este caso se observa una desviación de aire cercano al 15-20%.
- Los vórtices generados en la zona de los peines, (Imagen 137), provocan que el aire se encuentre recirculando en estos puntos, esto puede resultar benéfico ya que se requiere que el fluido que pase por los abanicos sea de régimen turbulento.
- **Propuesta de modificación geométrica:**
  - Una forma de poder tener una mayor succión es cambiar los barrenos por ranuras y de esta manera aumentar el área para la entrada del aire.
  - Para evitar que el aire se escape por las aberturas es recomendable cerrarlas completamente, además de considerar un deflector más grande y así el aire sea conducido al interior del tambor.



# **CAPÍTULO III**

# **MODIFICACIONES**

# **Y RESULTADOS**

# **FINALES**



### 3.1 Modificaciones a los diseños.

En este apartado se realizan análisis de fluido para poder determinar su comportamiento sobre los prototipos 1 y 2, realizando modificaciones sobre la geometría de los mismos para de esta manera optimizar la trayectoria del fluido.

#### Prototipo 1

El número de simulaciones a realizar sobre el prototipo mencionado son:

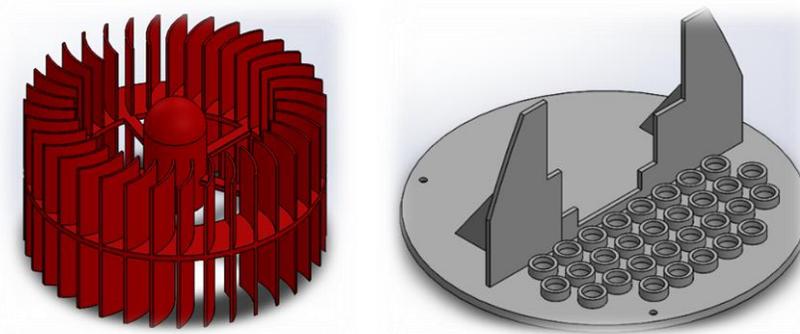
➤ **Análisis 3, prototipo 1:**

- A) Análisis de fluido considerando la geometría modificada de los alabes en el ensamble del ventilador modificado utilizando como condición inicial las 2100 RPM nominales del motor para determinar velocidades y flujo volumétrico del aire. **(CFD, 1, MOD-A)**
- B) Análisis de fluido considerando la geometría modificada utilizando como condición inicial las 2100 RPM nominales del motor para determinar velocidades de salida, flujo volumétrico y distribución de presiones en el ensamble de cúpula modificado. **(CFD, 1, MOD-B)**
- C) Análisis de fluido considerando la geometría modificada proponiendo el flujo volumétrico obtenido de análisis 3, prototipo 1-B) en la descarga del ventilador para determinar velocidades de salida, distribución de presiones y vórtices en el ensamble general modificado. **(CFD, 1, MOD-C)**

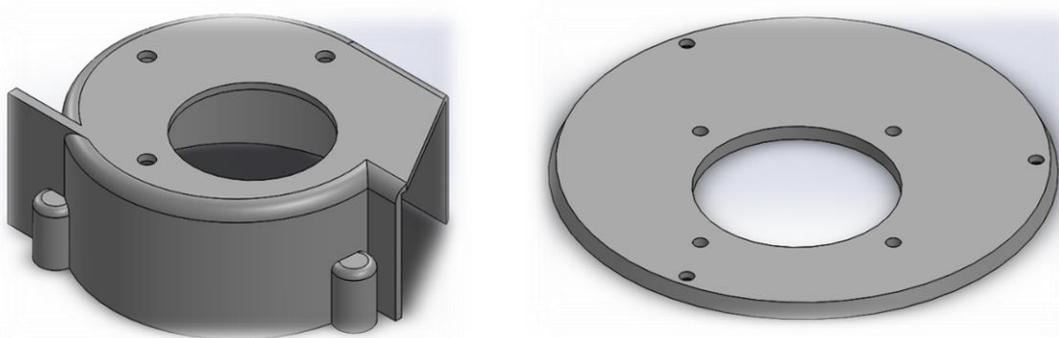
Elementos a modificar en el prototipo 1:

- Aspa del motor ventilador
- Base del cono
- Carcasa del motor ventilador
- Base del motor ventilador

Componentes modificados.



*Imagen 144 Aspa de motor ventilador modificado y Base del cono modificado.*

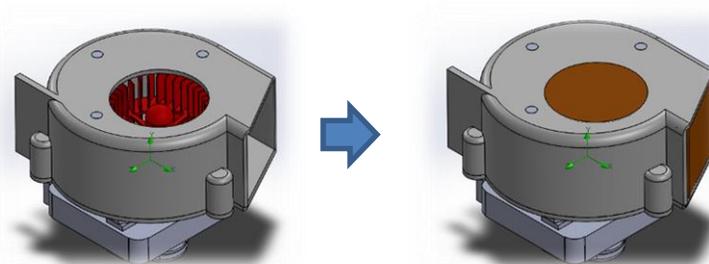


*Imagen 145 Carcasa del motor ventilador y base del motor ventilador con excentricidad.*

### Análisis 3, prototipo 1.

- A) Análisis de fluido considerando la geometría modificada de los alabes en el ensamble del ventilador modificado utilizando como condición inicial las 2100 RPM nominales del motor para determinar velocidades y flujo volumétrico del aire. (CFD, 1, MOD-A)

El primer paso es crear las tapas que servirán para determinar los límites de dominio para el análisis (Imagen 146).



*Imagen 146 Creación de tapas para entrada y salida de aire.*

El siguiente paso es crear una región rotativa para las aspas del ventilador (Imagen 147), servirá para determinar el volumen que delimita el dominio de rotación.

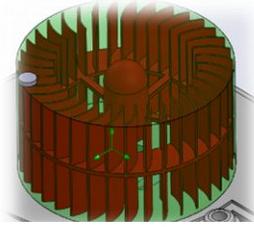


Imagen 147 Creación de región rotativa.

Como último paso se seleccionan las caras internas de las tapas y se indica al programa que estarán sometidas a presión atmosférica, posteriormente se selecciona la región rotativa y se le asigna que gira a 220 rad/s (2100 RPM) (Imagen 148).

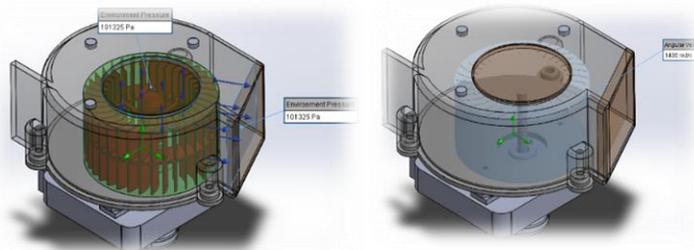


Imagen 148 Designación de caras para presión atmosférica y región rotativa.

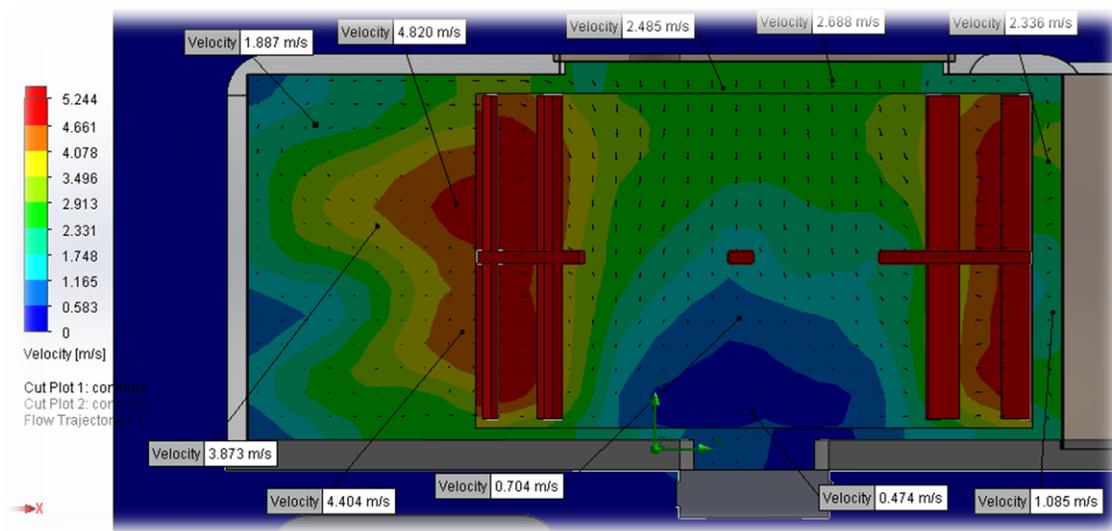
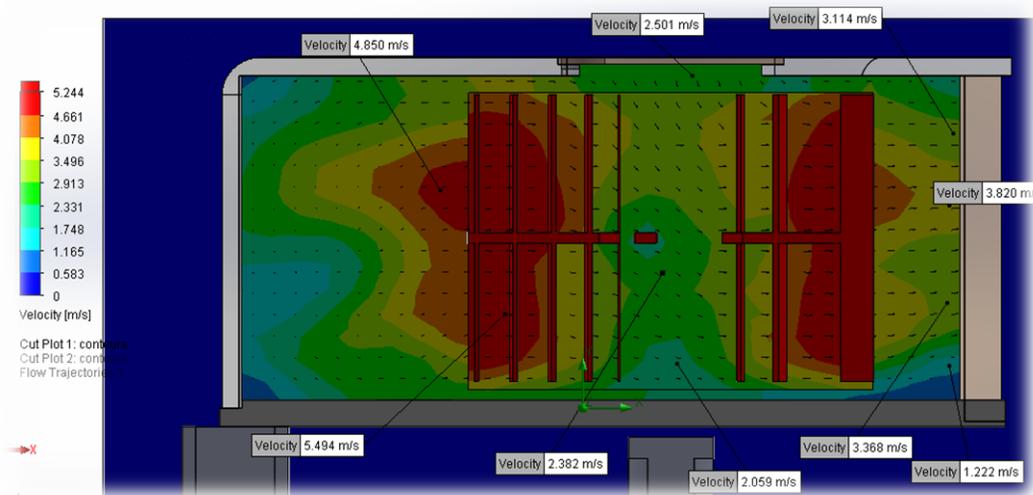


Imagen 149 Corte de velocidades 1 del ensamble del motor modificado.

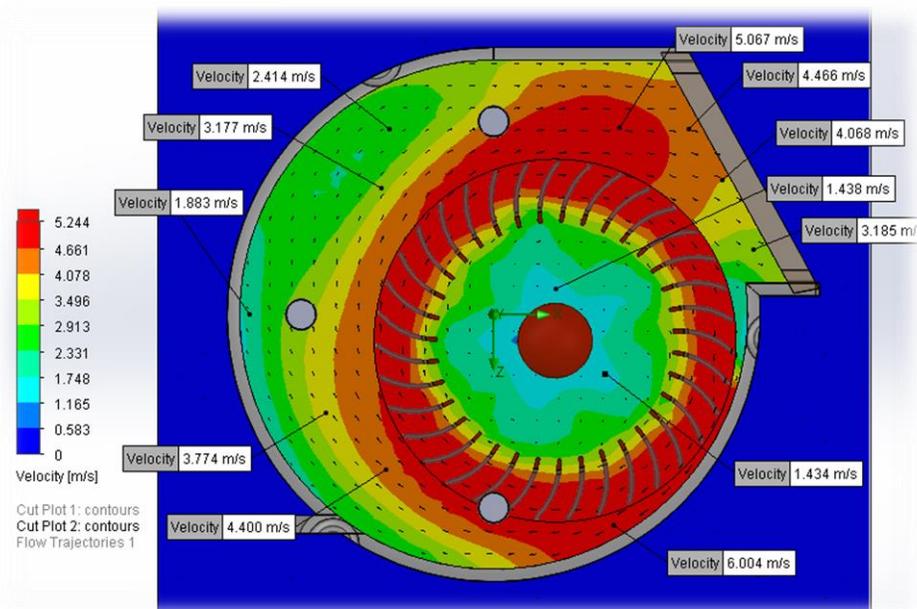
Mediante este gráfico de distribución de velocidades (Imagen 149 e Imagen 150), se pueden ver las velocidades que el aire alcanza en la carcasa del ventilador, se tienen velocidades

máximas de 5.494 m/s en los alabes y mínimas de 0.474 m/s en el centro de las aspás; la mayoría de los vectores apuntan a la descarga del ventilador.



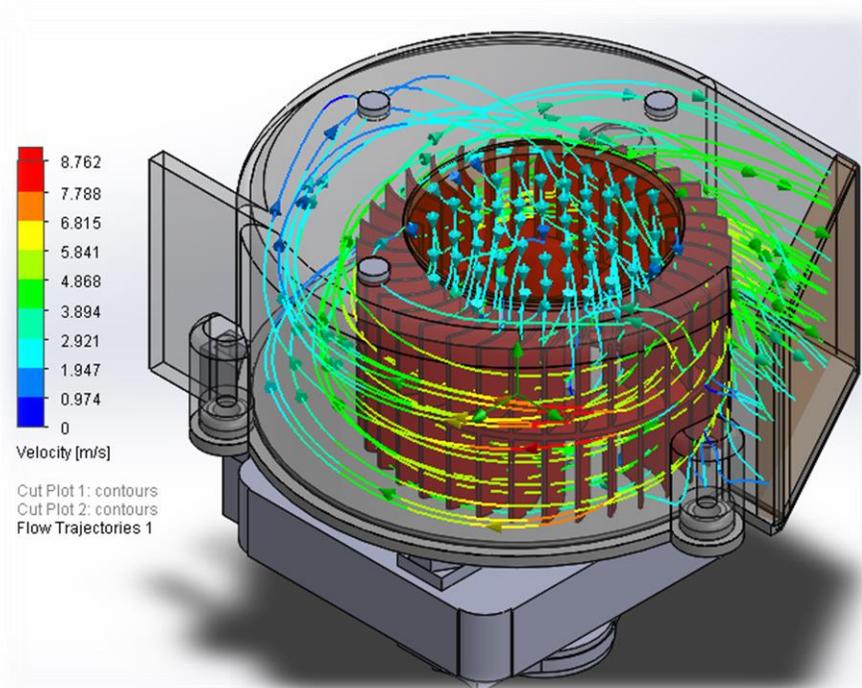
*Imagen 150 Corte de velocidades 2 del ensamble del motor modificado.*

En la Imagen 151 se aprecia la trayectoria del aire en el ventilador, la zona azul-verde en el centro representa la succión, en esta no se alcanzan a notar los vectores debido a que están normales al plano de la vista de corte; además se nota que la mayoría de los vectores apuntan hacia la descarga del ventilador, con una velocidad de salida que va desde 3.185 m/s a 4.466 m/s, teniendo una máxima velocidad del aire en las aspás de 6 m/s.

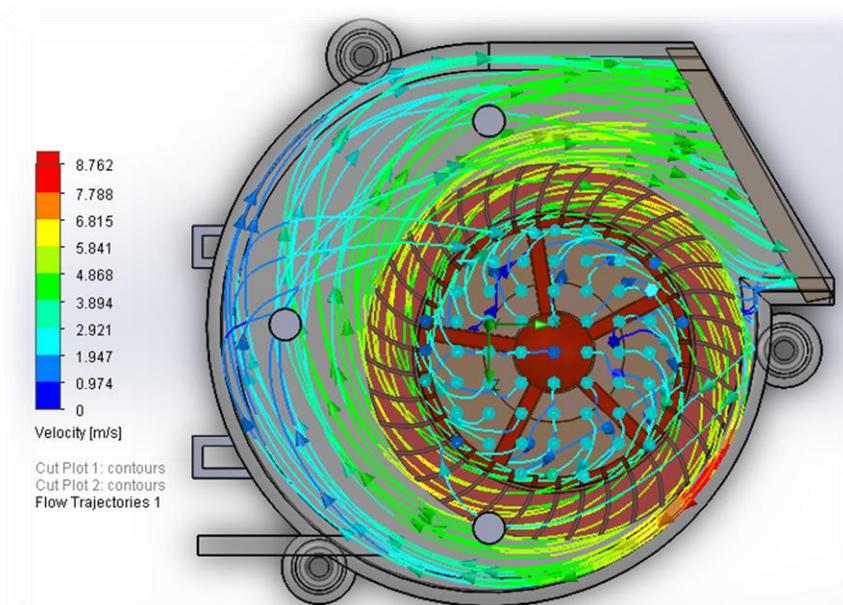


*Imagen 151 Corte de velocidades del ensamble del motor modificado, vista superior.*

A continuación se muestra las trayectorias del fluido mediante la cual se puede apreciar el recorrido del aire desde la succión, los alabes y la descarga del ventilador (Imagen 152 e Imagen 153).

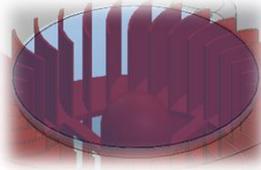


*Imagen 152 Trayectoria de fluido, vista isométrica.*



*Imagen 153 Trayectoria de fluido, vista superior.*

Por último se calculan los parámetros a la entrada y salida del ventilador.

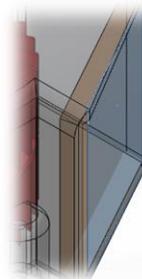


*Imagen 154 Flujo volumetrico, entrada del ventilador.*

*Tabla 10 Parámetros a la entrada del ventilador modificado.*

<i>Local parameters</i>					
Parameter	Minimum	Maximum	Average	Bulk Average	Surface Area [m <sup>2</sup> ]
Pressure [Pa]	101319.461	101323.336	101321.15	101321.029	0.000953859
Velocity [m/s]	1.66289607	3.03362421	2.50867099	2.55017918	0.000953859
<i>Integral parameters</i>					
Parameter	Value	X- component	Y- component	Z- component	Surface Area [m <sup>2</sup> ]
Mass Flow Rate [kg/s]	0.002875986				0.000953859
Volume Flow Rate [m <sup>3</sup> /s]	0.002389371				0.000953859

Mediante estas tablas generadas por SolidWorks se tiene que el flujo volumétrico a la entrada del ventilador es de 0.0024 m<sup>3</sup>/s, equivalente a 5.085 CFM.



*Imagen 155 Flujo volumetrico, salida del ventilador.*

*Tabla 11 Parámetros a la salida del ventilador modificado.*

<i>Local parameters</i>					
Parameter	Minimum	Maximum	Average	Bulk Average	Surface Area [m <sup>2</sup> ]
Pressure [Pa]	101325	101325	101325	101325	0.001046447
Velocity [m/s]	0.426838573	4.6471131	3.49771131	3.76071085	0.001046447
<i>Integral parameters</i>					
Parameter	Value	X- component	Y- component	Z- component	Surface Area [m <sup>2</sup> ]
Mass Flow Rate [kg/s]	-0.003031439				0.001046447
Volume Flow Rate [m <sup>3</sup> /s]	-0.002518648				0.001046447

Se tiene que el flujo volumétrico a la salida del ventilador es de  $0.00252 \text{ m}^3/\text{s}$  en dirección inversa, el signo indica que el aire sale, equivalente a 5.34 CFM.

Resumen para el análisis:

- El ventilador funciona de la siguiente manera, succionando el aire desde la entrada superior, pasando a través del aspa del ventilador y expulsándolo en la descarga.
- Las velocidades de entrada se encuentran de 1.662 a 2.3273.033 m/s, con un promedio de 2.508 m/s (Tabla 10) y a la salida se encuentran de 0.462 a 4.647 m/s, con un promedio de 3.497 m/s (Tabla 11).
- El flujo volumétrico tanto a la entrada como a la salida son casi iguales (5.085 a 5.34 CFM) y denota un aumento en comparación con *Análisis 1, prototipo 1-A*, en el que se tenía un flujo volumétrico de 3.498 a 3.578 CFM; sin embargo no se alcanza el flujo necesario de 33.1 CFM.

### Análisis 3, prototipo 1.

B) Análisis de fluido considerando la *geometría modificada* utilizando como condición inicial las 2100 RPM nominales del motor para determinar velocidades de salida, flujo volumétrico y distribución de presiones en el ensamble de cúpula modificado. (CFD, **1, MOD-B**)

Al igual que el *Análisis 3, prototipo 1-A*; se considera una región rotativa en el ventilador, pero ahora se tiene en el ensamble de cúpula.

El primer paso es crear las tapas que estarán sometidas a la presión atmosférica.

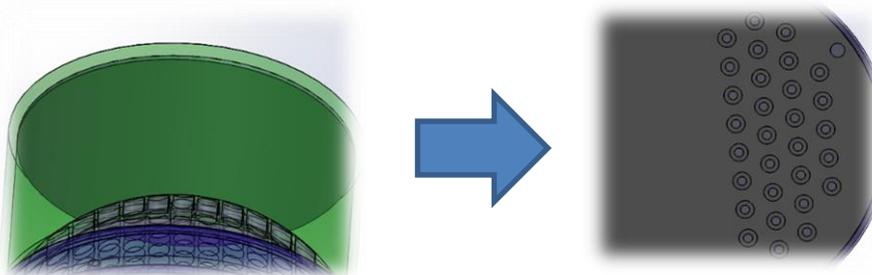


Imagen 156 Creación de tapas para entrada de aire.

Posteriormente se designa una región rotativa para los alabes del ventilador.

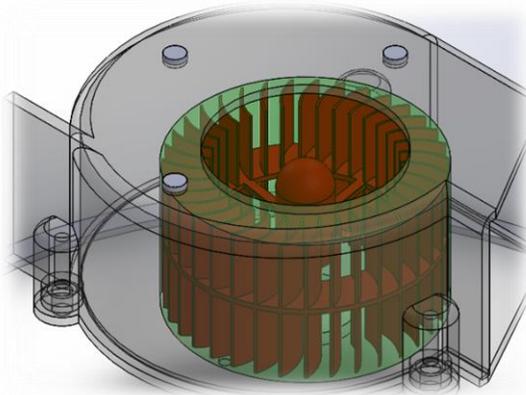


Imagen 157 Region rotativa.

Con estas modificaciones se procede a iniciar el programa y poder visualizar los resultados.

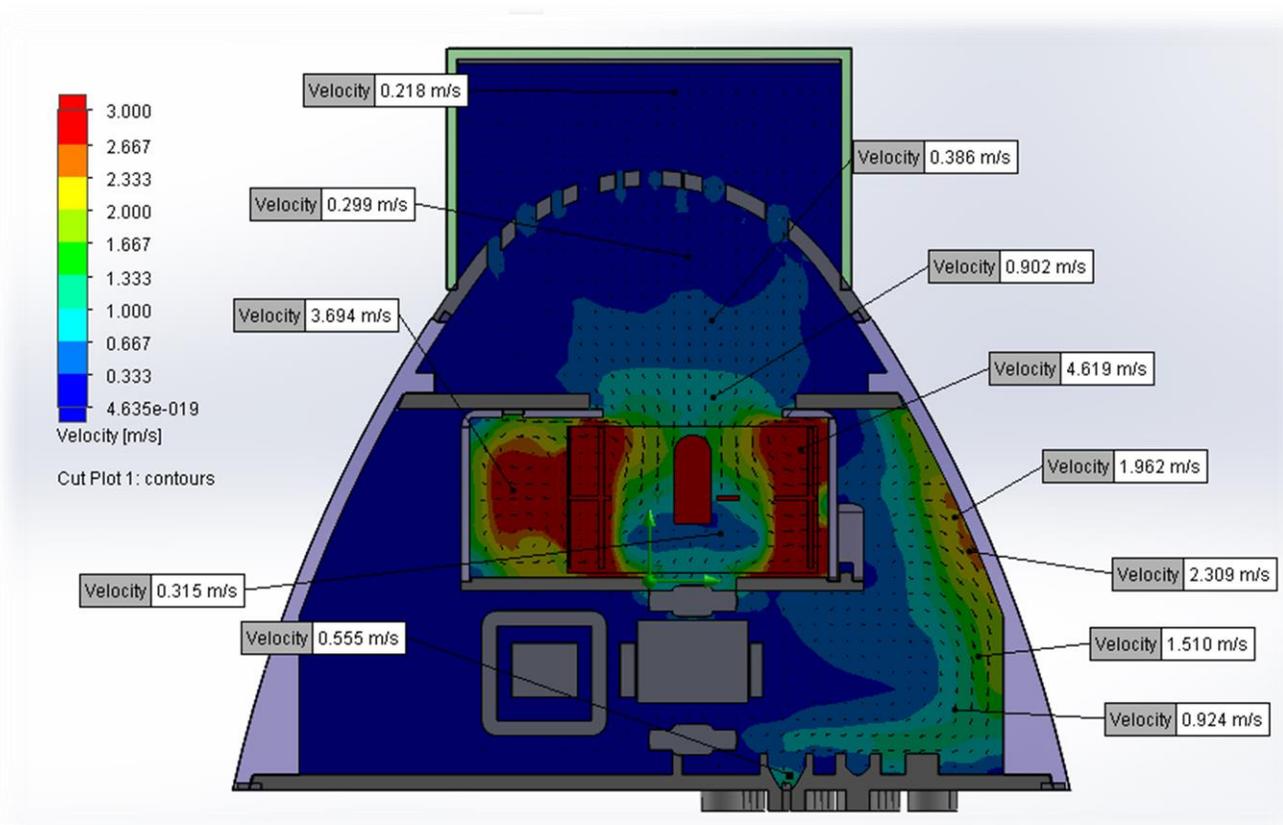
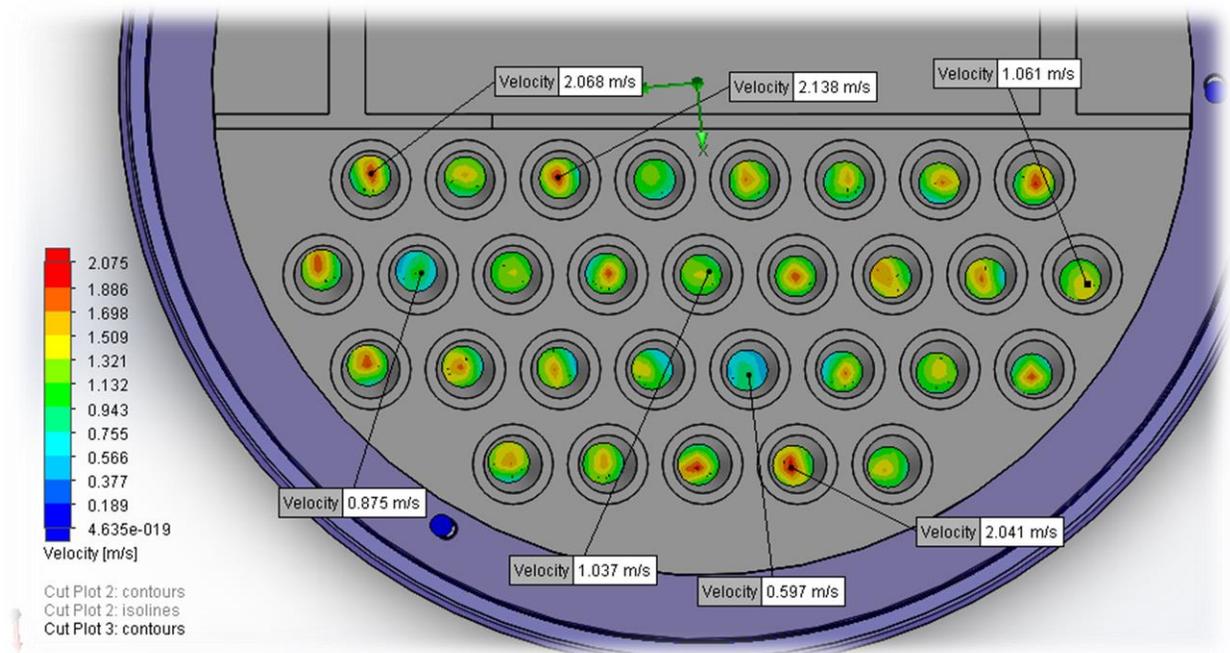


Imagen 158 Corte de velocidades en el ensamble de cúpula modificado.

Mediante este gráfico de distribución de velocidades (Imagen 158), se pueden ver las diferentes velocidades que el aire alcanza dentro del ensamble de la cúpula modificado, en esta sección se tienen velocidades máximas de 4.169 m/s en los alabes y mínimas de 0.218 a 0.299 m/s en la succión.

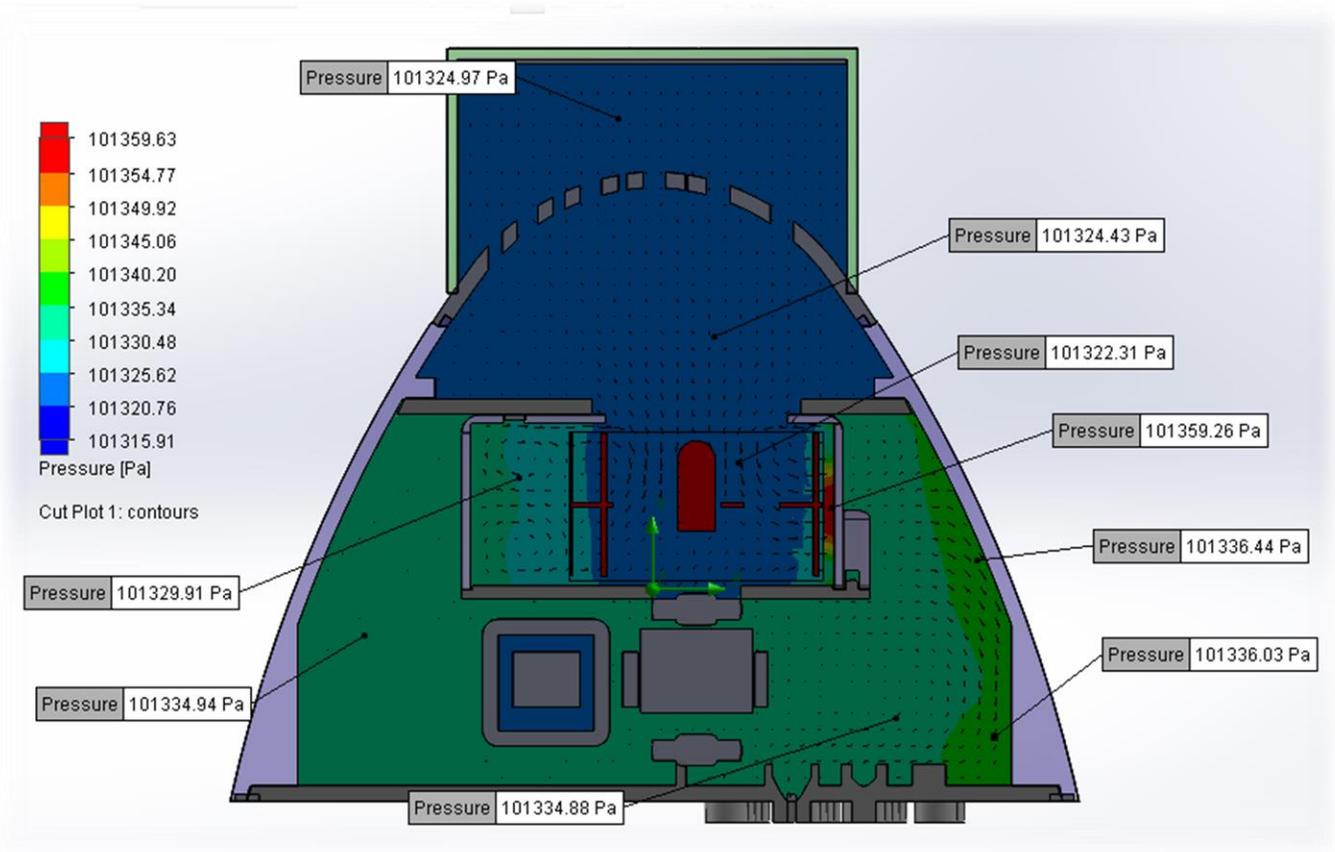
En la Imagen 159 se pueden observar las velocidades alcanzadas al pasar por los orificios de la base del cono, las velocidades alcanzadas varían de 0.597 a 2.138 m/s.



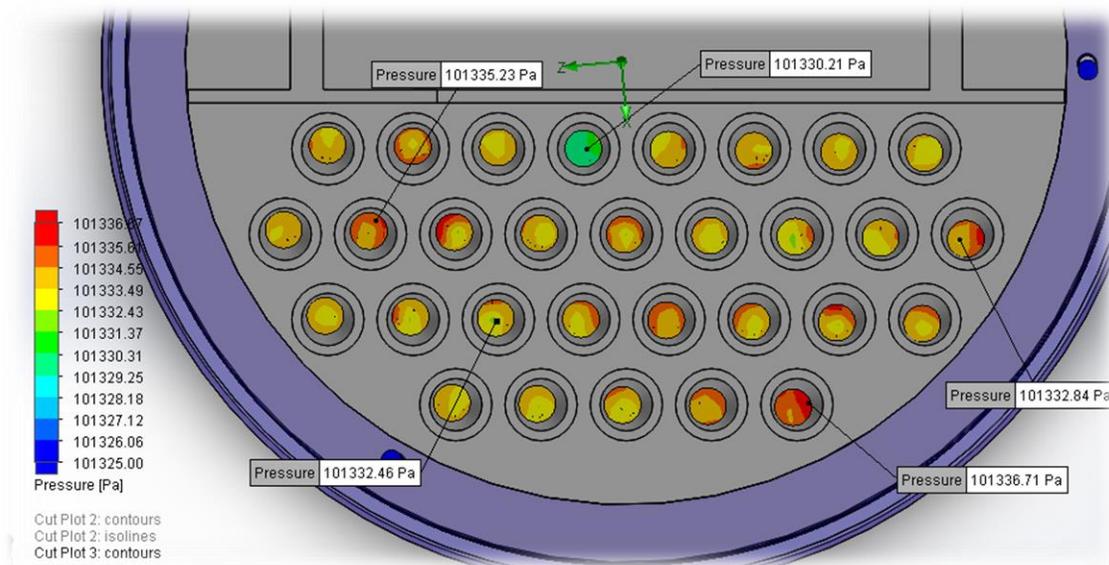
*Imagen 159 Velocidades a la salida de los orificios de la base del cono.*

En general la distribución de velocidades a la salida se encuentra de manera homogénea, ya que la mayoría se hallan en valores por arriba de 0.755 a 0.943 m/s, según la escala de colores.

En las imágenes inferiores (Imagen 160 e Imagen 161), se distinguen las distribuciones de presiones dentro del cuerpo del cono, estas tienen variaciones desde 101322 Pa en el centro de las aspas del ventilador y máximas en el interior del cuerpo del cono, con un valor de 101334-101336 Pa de manera homogénea.



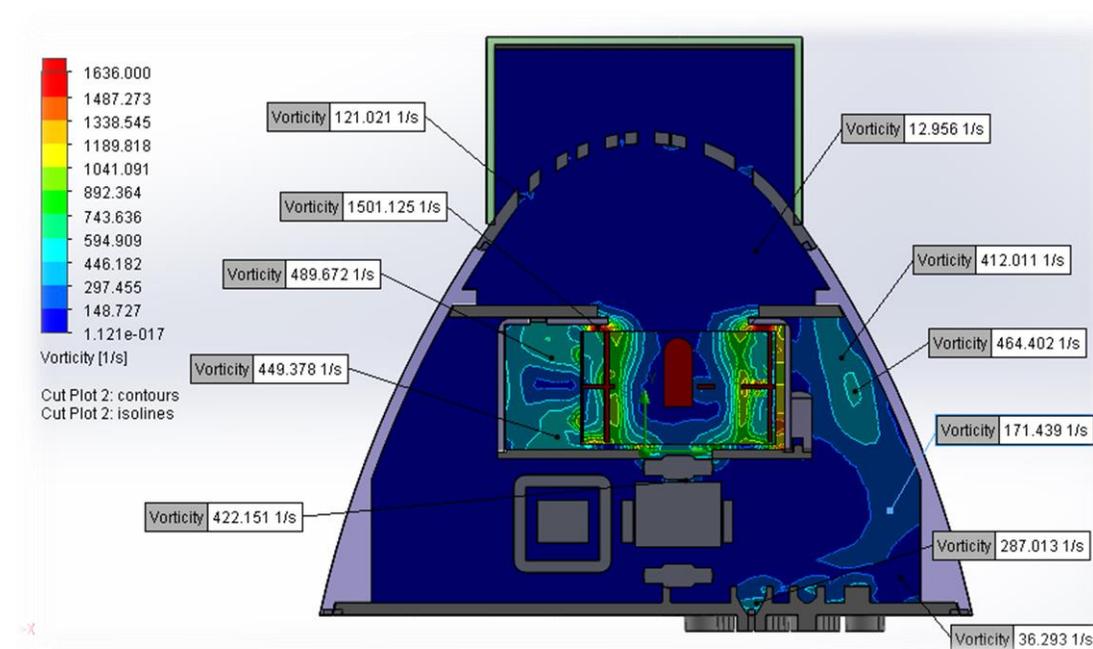
*Imagen 160 Distribución de presiones en el ensamble de cúpula modificado*



*Imagen 161 Presiones a la salida de los orificios de la base del cono.*

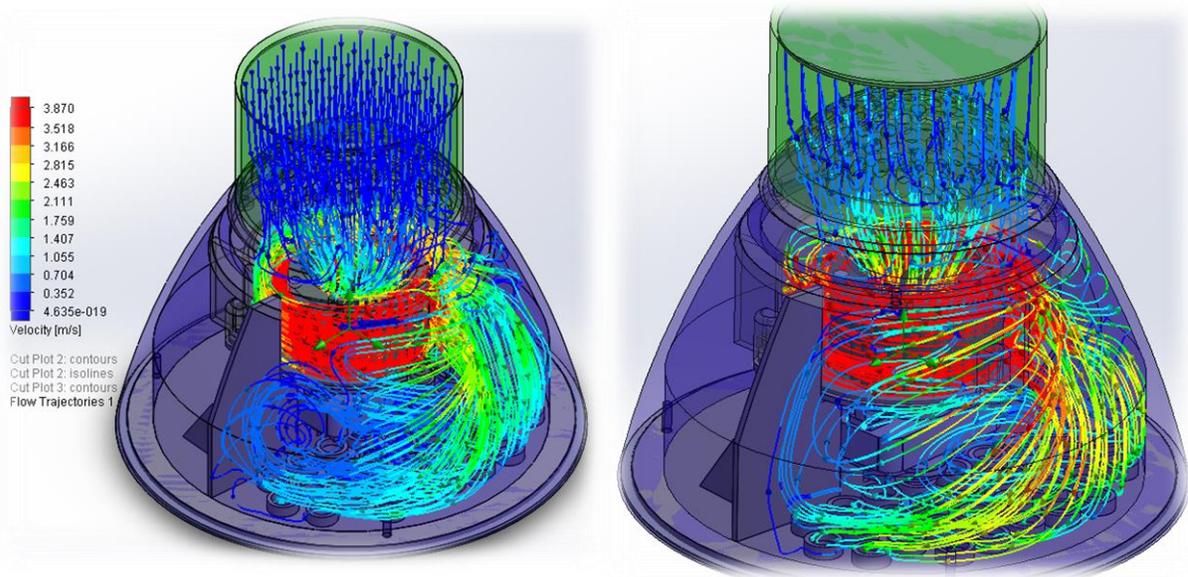
Los resultados que se muestran en la Imagen 162 ilustran los vórtices que se generan en el interior del ensamble de cúpula, como se puede notar los mayores se tienen en el interior del impulsor del ventilador, debido a las revoluciones que tiene.

En el resto del ensamble se tienen valores de vorticidad más pequeños, que se ilustran en la Imagen 162.



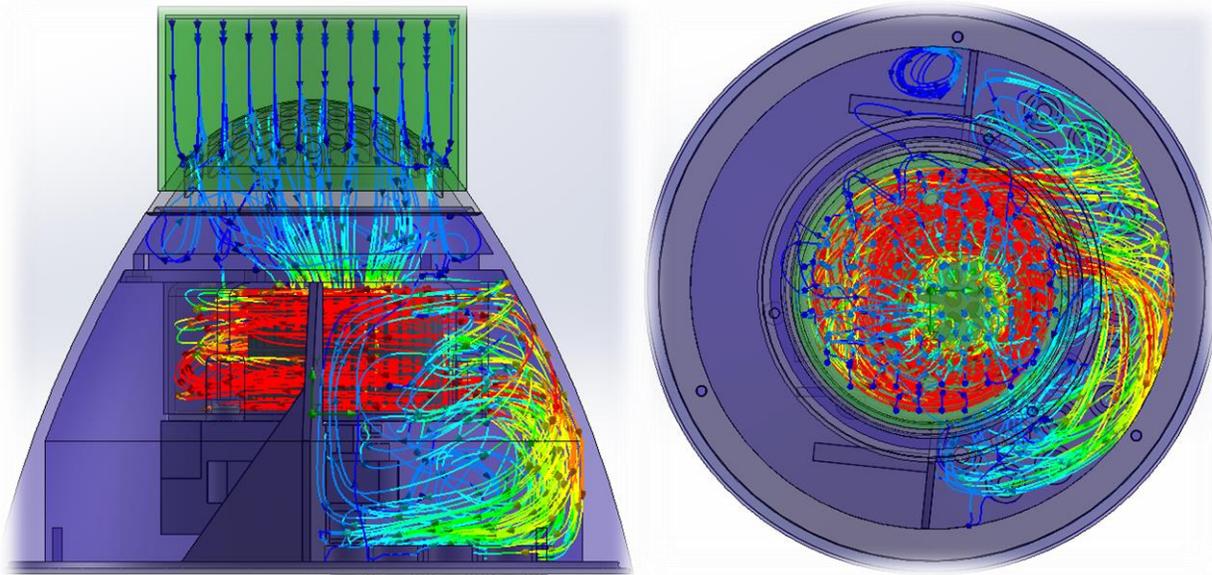
*Imagen 162 Vórtices generados en el ensamble de cúpula modificado.*

A continuación se muestran las trayectorias del fluido mediante las cuales se puede apreciar el recorrido del aire desde la succión, los alabes, la descarga del ventilador y la distribución en el cuerpo del cono.

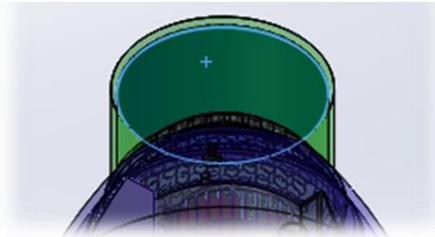


*Imagen 163 Trayectorias del fluido en el ensamble de cono modificado en vista isométrica.*

Las trayectorias del fluido que se ilustran a continuación (Imagen 164), muestran una mejor distribución del flujo del aire dentro del ensamble, el deflector actúa como una barrera, conteniendo el fluido en la mitad donde se localizan los agujeros de la base del cono, con esto el flujo es canalizado directamente hacia estos agujeros y no pierde energía al pasar por la otra mitad del ensamble.



*Imagen 164 Trayectorias de fluido en vista frontal y vista superior.*



*Imagen 165 Flujo volumétrico a la entrada de la cúpula de cono modificado.*

*Tabla 12 Parámetros a la entrada del ensamble de cúpula modificado.*

<i>Local parameters</i>					
Parameter	Minimum	Maximum	Average	Bulk Average	Surface Area [m <sup>2</sup> ]
Pressure [Pa]	101324.972	101324.984	101324.975	101324.975	0.004223516
Velocity [m/s]	0.161631768	0.216826365	0.201731724	0.202397595	0.004223516
<i>Integral parameters</i>					
Parameter	Value	X-component	Y-component	Z-component	Surface Area [m <sup>2</sup> ]
Mass Flow Rate [kg/s]	0.001024319				0.004223516
Volume Flow Rate [m <sup>3</sup> /s]	0.000850971				0.004223516

Se tiene que el flujo volumétrico a la entrada de la cúpula es de 0.000851m<sup>3</sup>/s, equivalente a 1.803 CFM.



*Imagen 166 Flujo volumétrico a la salida de la cúpula de cono.*

*Tabla 13 Parámetros a la salida del ensamble de cúpula modificado.*

<i>Local parameters</i>					
Parameter	Minimum	Maximum	Average	Bulk Average	Surface Area [m <sup>2</sup> ]
Pressure [Pa]	101325	101325	101325	101325	0.000336855
Velocity [m/s]	0.454917599	3.95892579	2.6125999	2.82129006	0.000336855
<i>Integral parameters</i>					
Parameter	Value	X-component	Y-component	Z-component	Surface Area [m <sup>2</sup> ]
Mass Flow Rate [kg/s]	-0.001013881				0.000336855
Volume Flow Rate [m <sup>3</sup> /s]	-0.000842385				0.000336855

Se tiene que el flujo volumétrico a la salida de los orificios de la base del cono es de 0.000842 m<sup>3</sup>/s en dirección negativa, el signo solo indica que el aire sale, equivalente a 1.784 CFM.

Resumen para el análisis:

- El ventilador funciona de manera correcta, succionando el aire desde la cúpula de cono y expulsándolo en la descarga del ventilador.
- Las velocidades en la entrada en los orificios de la base del cono son aproximadamente de 0.161 a 0.217 m/s, con un promedio de 0.202 m/s (Tabla 12) y a la salida de 0.455 a 3.959 m/s, con un promedio de 2.613 m/s (Tabla 13); la cúpula de cono actúa como un filtro, provocando un menor paso de aire.
- El flujo volumétrico tanto a la entrada como a la salida son casi iguales (1.784 a 1.803 CFM) y se notó un aumento en comparación con *Análisis 1, prototipo 1-B*, en el que se tenía un flujo volumétrico de 1.534-1.539 CFM; sin embargo no se alcanza el flujo necesario de 33.1 CFM.
- El deflector que se colocó en la base del cono actúa de manera satisfactoria ya que el flujo del aire solo se encuentra en la mitad donde se localizan los agujeros, (Imagen 164).

**Análisis 3, prototipo 1.**

C) Análisis de fluido considerando la geometría modificada proponiendo el flujo volumétrico obtenido de análisis 3, prototipo 1-B) en la descarga del ventilador para determinar velocidades de salida, distribución de presiones y vórtices en el ensamble general modificado. (CFD, 1, MOD-C)

Se preparan las tapas para la entrada y salida del aire y además crear el espacio sometido a la presión atmosférica, (Imagen 167).

El flujo volumétrico conocido de 1.803 CFM (0.000851 m<sup>3</sup>/s), se coloca como condición inicial en la descarga del ventilador, el resto del ensamble estará sometido a la presión atmosférica.

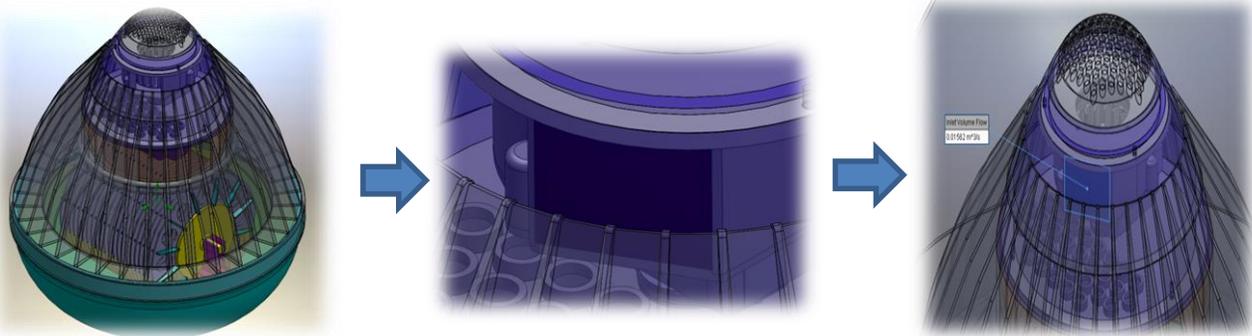


Imagen 167 Creación de tapas.

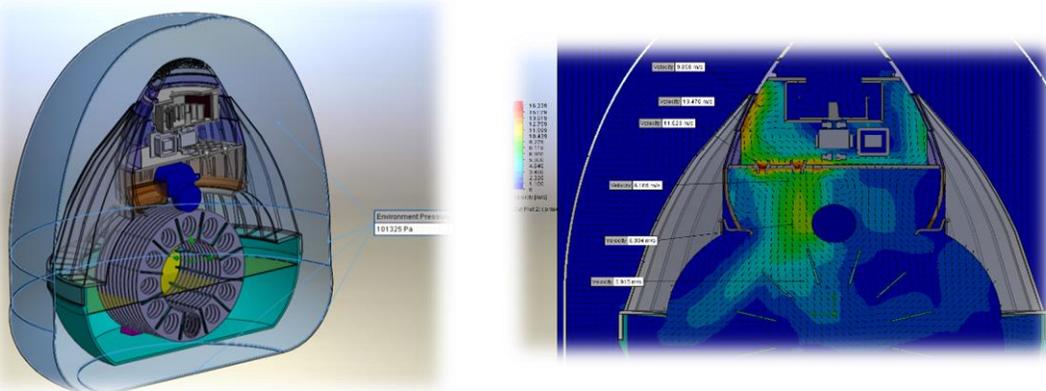
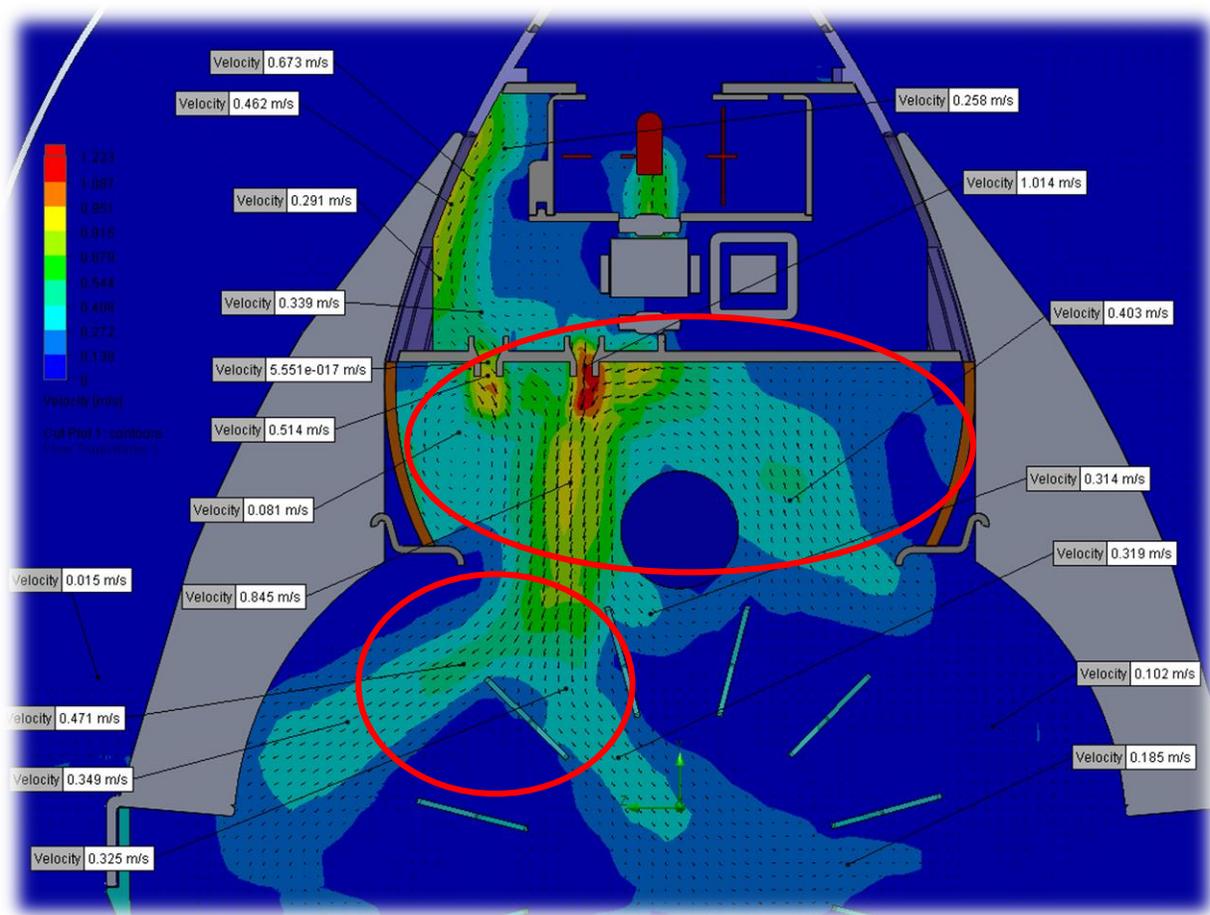


Imagen 168 Colocación de la presión atmosférica y entrada de aire.

Después de esto se inician los cálculos del programa para visualizar los resultados.

Mediante el gráfico de distribución de velocidades (Imagen 169), se pueden ver las velocidades que el aire alcanza dentro del ensamble general, en esta sección se tienen velocidades máximas de 0.514 a 1.014 m/s en orificios de la base del cono, que posteriormente va disminuyendo a medida que el aire se desplaza hacia los abanicos, llegando con una velocidad de 0.319 a 0.325 m/s; nótese que una parte del aire entra a través de los peines y otra parte es desviada por los abanicos, posteriormente el aire choca en el espejo de agua y después sale por la rejilla a una velocidad baja cerca de 0 a 0.136 m/s; también se alcanza a observar la formación de dos vórtices en la zona del motor de tracción.



*Imagen 169 Distribución de velocidades del ensamble general.*

A continuación se muestra un gráfico (Imagen 170), en donde se ven las distribuciones de presiones en el ensamble; las mayores presiones se localizan en la zona de la cúpula, debido al choque del aire en las paredes, alcanzando niveles de 101402 Pa; una vez que el aire sale por los orificios la presión cae a valores de 101325 Pa; es decir, a la presión atmosférica.

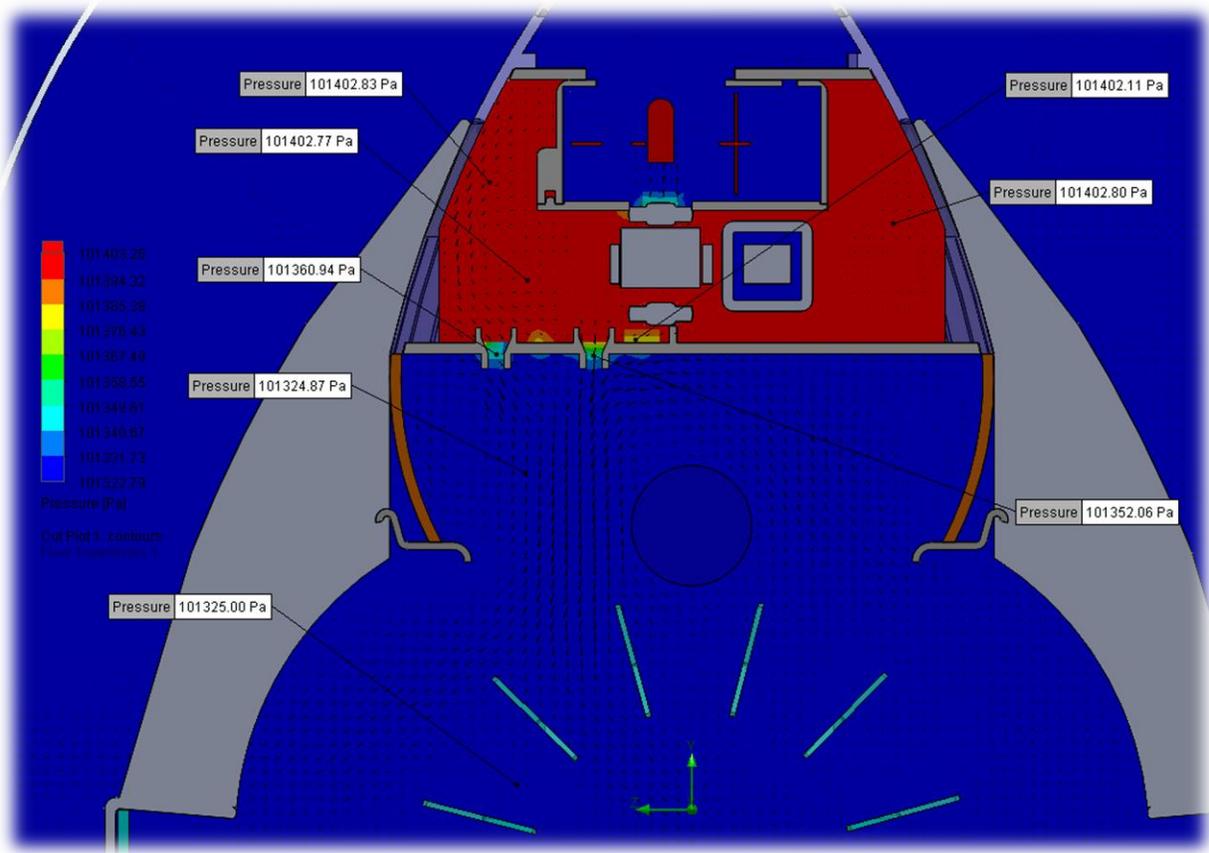
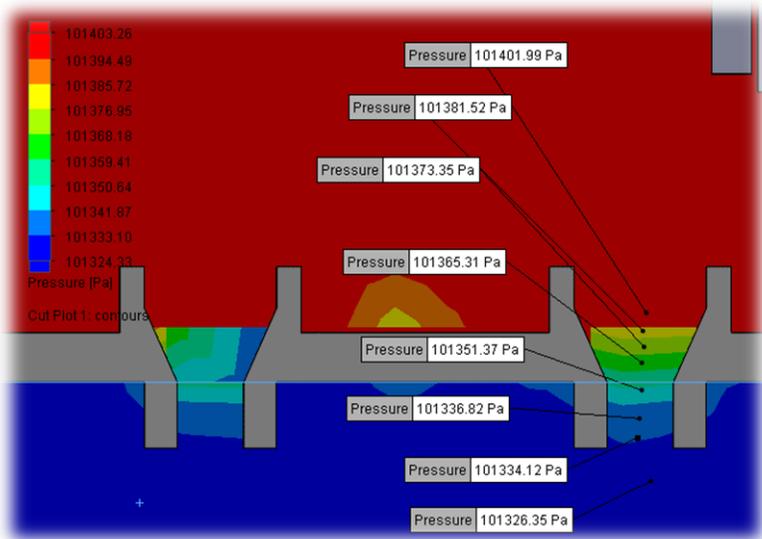


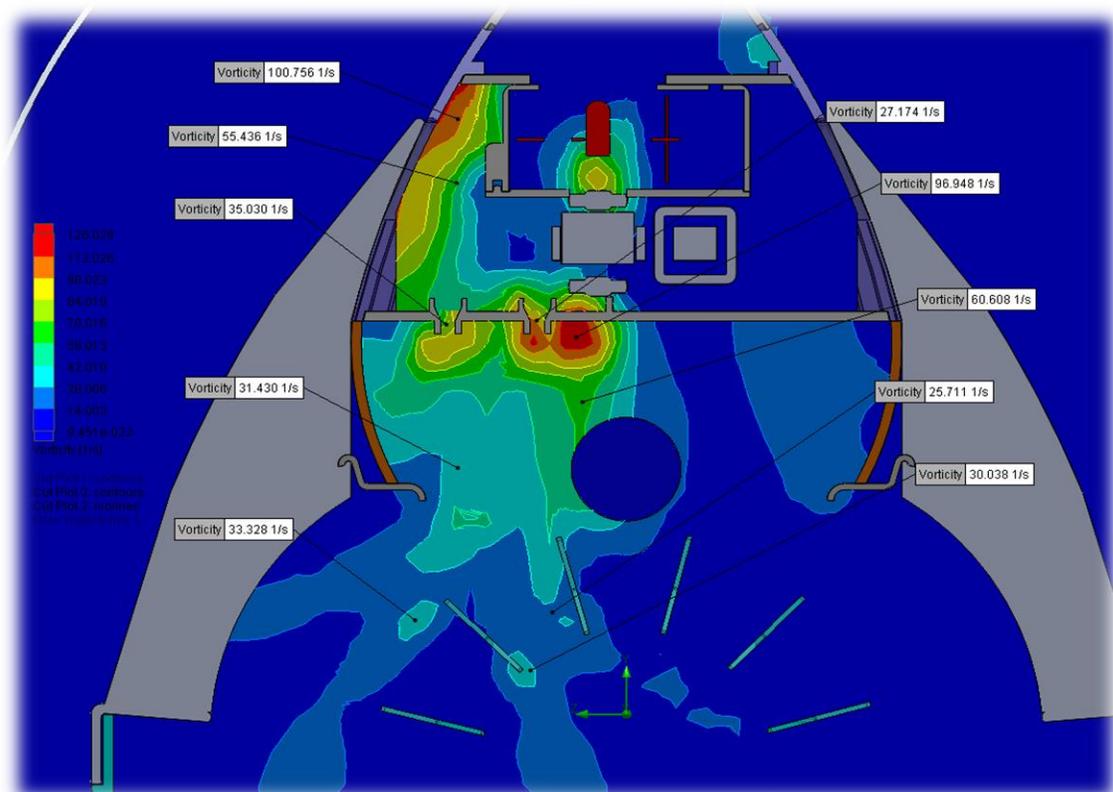
Imagen 170 Distribución de presiones en el ensamble general.



En la Imagen 171 se puede apreciar como cae la presión al pasar por los orificios, hasta llegar al valor de la presión atmosférica.

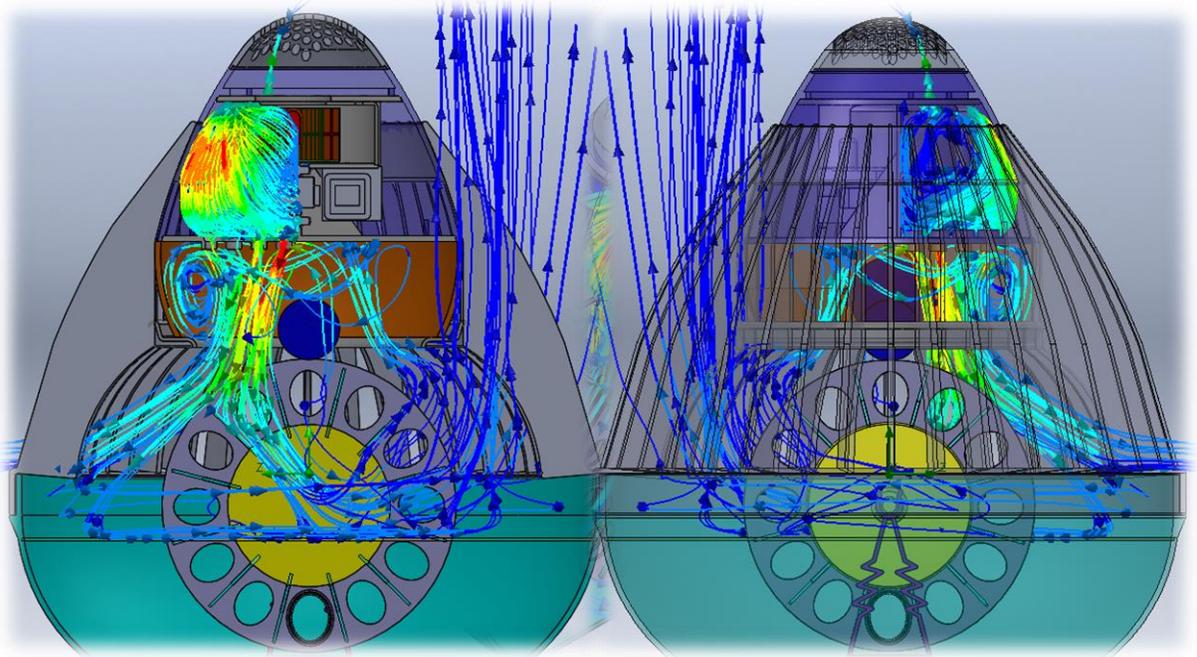
*Imagen 171 Presiones en los orificios.*

En lo referente a los vórtices la Imagen 172 ilustra las zonas en donde se generan vórtices con una mayor frecuencia, los ubicados en la parte de la cúpula son los mayores; al salir el aire por los orificios de la base del cono se tienen dos vórtices importantes también, con valores de 27.174 y 35.03 Hz.

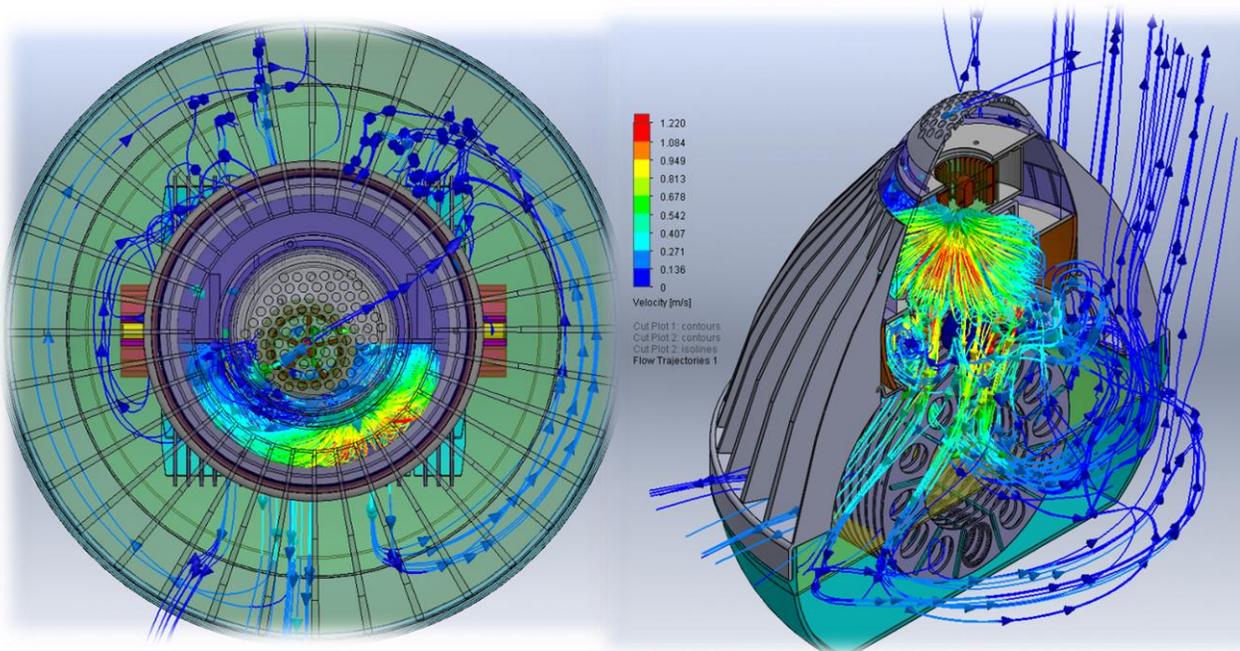


*Imagen 172 Vórtices generados en el ensamble general modificado.*

A continuación se muestran las trayectorias de fluido en el ensamble general modificado.



*Imagen 173 Trayectoria de fluido en vista isométrica.*



*Imagen 174 Trayectoria de fluido, vista superior y vista isométrica.*

En la Imagen 174 se puede apreciar como el deflector concentra al fluido solo en la mitad de la cúpula, conduciendo al fluido hacia los agujeros de la base del cono.

Resumen para el análisis:

- En este análisis el aire sale con una velocidad de 0.514 a 1.014 m/s por los orificios de la base del cono y llega al tambor con velocidad de 0.319 a 0.325 m/s.
- No todo el aire pasa a través de los abanicos, sino que una parte del mismo es desviado por la geometría del tambor y la posición de los peines, provocando una desviación de aire de un 50%; no obstante se tiene una contribución en la velocidad de aire pasando por el tambor de 0.319 a 0.325 m/s en comparación con el Análisis 2, prototipo 1-C), en donde se tenían valores de 0.173 m/s.
- Las presiones en el interior del desalinizador en la zona del tambor son homogéneas, rondando valores de 101326 Pa, lo cual significa que se encuentra a la presión atmosférica, para este análisis no se observa aumento de presión en los peines.
- Cabe mencionar que el deflector que se colocó sobre la base del cono retiene al flujo del aire sobre la mitad en donde se localizan los agujeros, dirigiéndolo directamente hacia estos; por lo tanto, no se tiene una recirculación de flujo como el observado en Análisis 2, prototipo 1-B y C, en el que no se tenía un deflector.
- Este análisis es más apegado a las condiciones reales debido a que se ha introducido el caudal de flujo de 1.803 CFM en la descarga del ventilador.
- En este análisis no se tienen vórtices grandes en la zona de los peines (25.711 a 33.328 Hz), es decir, el aire se encuentre recirculando en estos puntos pero con actividad muy baja o despreciable.

## Prototipo 2

El número de simulaciones a realizar sobre el prototipo mencionado son:

### Análisis 3, prototipo 2:

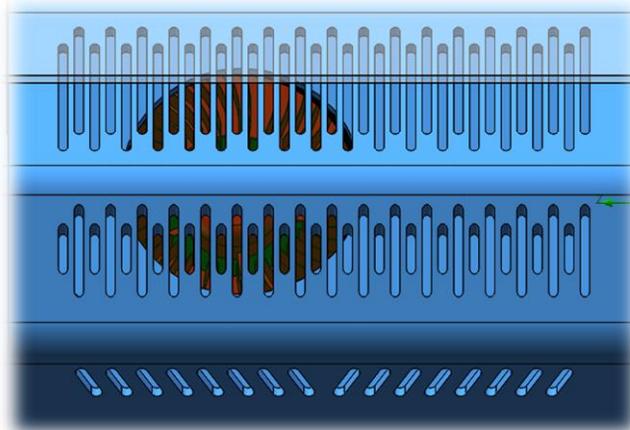
- A) Análisis de fluido considerando la *geometría modificada* utilizando como condición inicial las 3820 RPM nominales del motor para determinar velocidades de salida, flujos volumétricos, distribución de presiones y vórtices en el ensamble general modificado.  
**(CFD, 2, MOD-A)**
- B) Análisis de fluido considerando *geometría modificada* proponiendo el flujo volumétrico ideal de **33.1 CFM** como una entrada axial, para determinar velocidades de salida, distribución de presiones y vórtices en el ensamble general modificado.  
**(CFD, 2, MOD-B)**

Elementos a modificar en el prototipo 2:

- Contenedor superior
- Deflector interior
- Contenedor inferior
- Realización de deflectores
- Realización de tobera
- Eliminación de motor interior

### Modificaciones a la geometría, prototipo 2

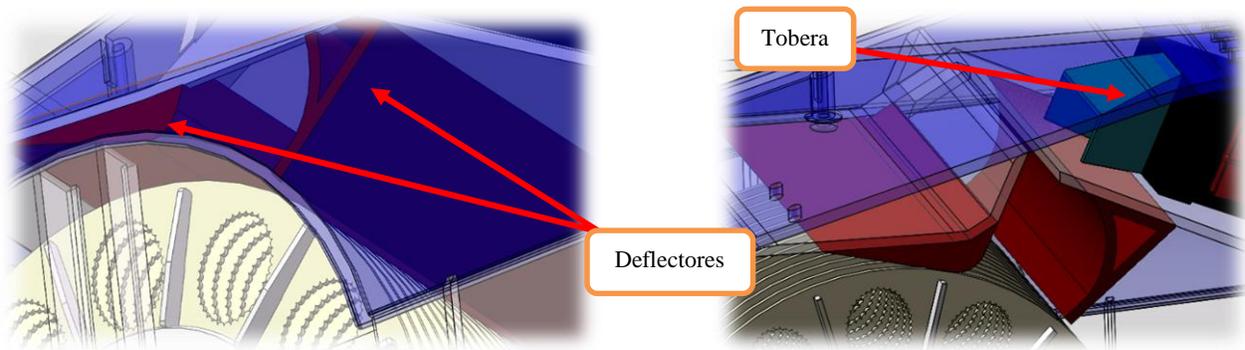
Las piezas modificadas para este análisis fueron:



*Imagen 175 Ranuras al contenedor superior.*

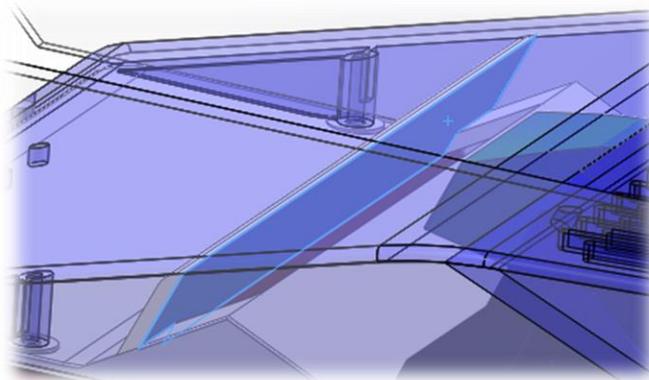
Se realizaron ranuras en el contenedor superior en lugar de los barrenos que originalmente se encontraban, para de esta manera aumentar el área en la entrada del aire.

En la siguiente imagen se aprecian los deflectores que se utilizan para conducir el aire hacia los abanicos y peines en el tambor, esto para que la mayor cantidad de aire se desplace directamente hacia esta sección.



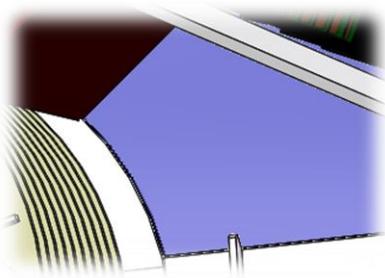
*Imagen 176 Deflectores para conducir el aire hacia los abanicos y tobera.*

La tobera realizada (Imagen 176), tiene como función la correcta distribución del flujo de aire sobre el deflector y para que de esta manera llegue a los abanicos de manera más homogénea.



*Imagen 177 Deflector expandido.*

La Imagen 177 muestra el deflector expandido a todo lo ancho del contenedor superior, esto es para que el aire no pase por las aberturas que se tenían en el ensamble original.



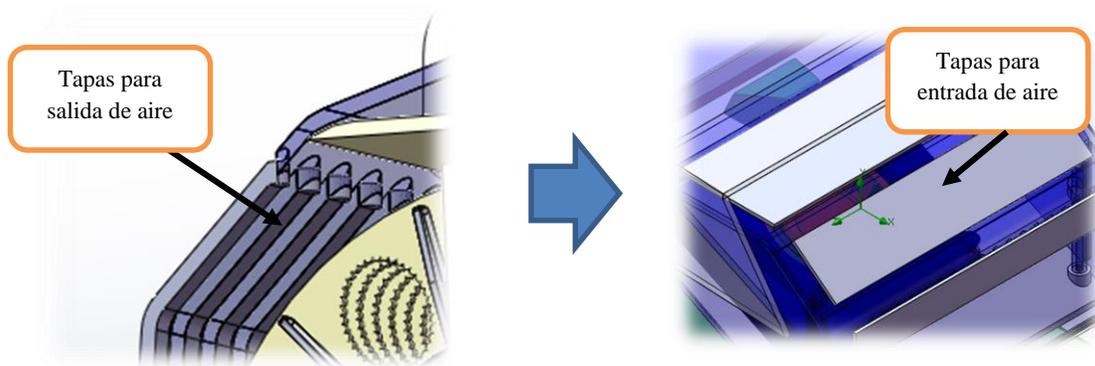
Además se eliminó el motor del interior del ensamble, esto con tal de que el aire circule sin objetos que obstruyan su paso.

*Imagen 178 Eliminación del motor al interior del ensamble.*

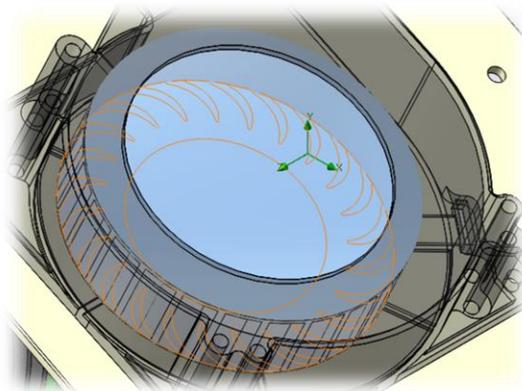
### Análisis 3, prototipo 2

- A) Análisis de fluido considerando la *geometría modificada* utilizando como condición inicial las 3820 RPM nominales del motor para determinar velocidades de salida, flujos volumétricos, distribución de presiones y vórtices en el ensamble general modificado.  
**(CFD, 2, MOD-A)**

Como los análisis anteriores el primer paso es crear las caras que estarán sometidas a la presión atmosférica y la región rotativa.



*Imagen 179 Creación de tapas para salida y entrada de aire.*

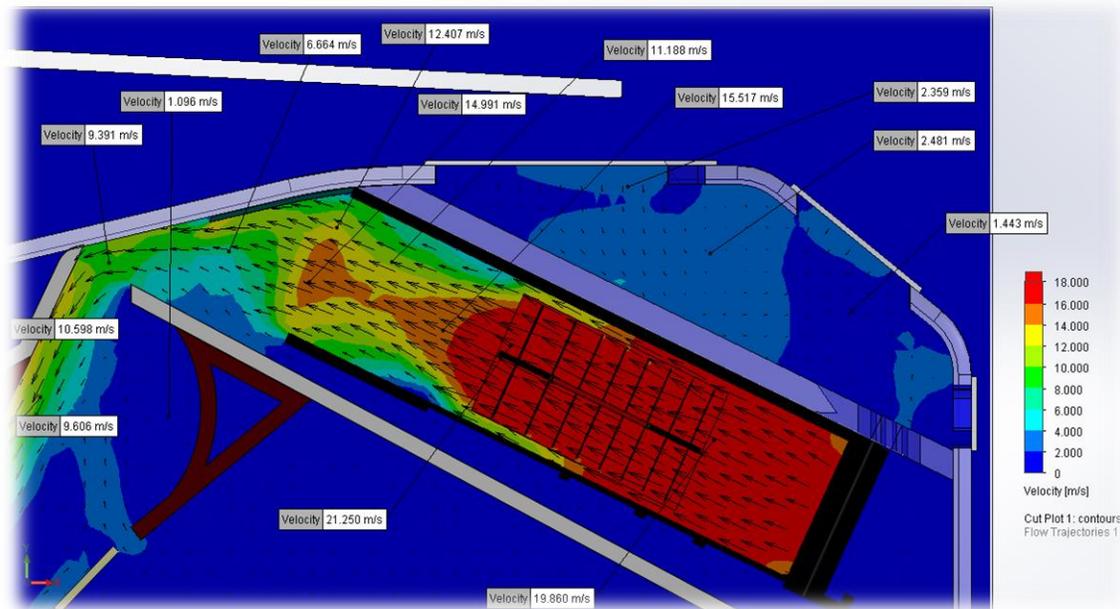


Región rotativa para el ventilador de 400 (3800 RPM) rad/s.

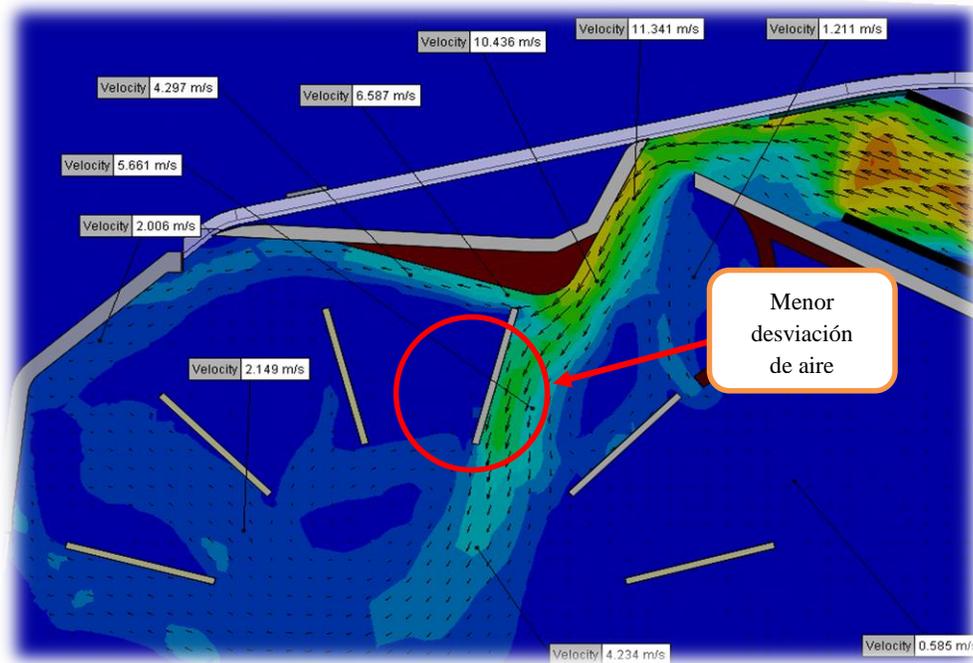
*Imagen 180 Región rotativa para el ventilador.*

La Imagen 181 muestra los valores de las velocidades alcanzadas en la zona del ventilador, como se puede observar en esta sección, se tienen velocidades máximas de 19.8 a 21.25 m/s en el impulsor del ventilador; en la succión se tienen velocidades de entrada de 1.43 m/s a 2.481 m/s.

Una vez que el aire pasa por el impulsor del ventilador este sale a una velocidad de aproximadamente 12.4 a 15m/s, posteriormente el aire llega al deflector bajando un poco su velocidad pero manteniéndose en un valor de 9 a 10 m/s.



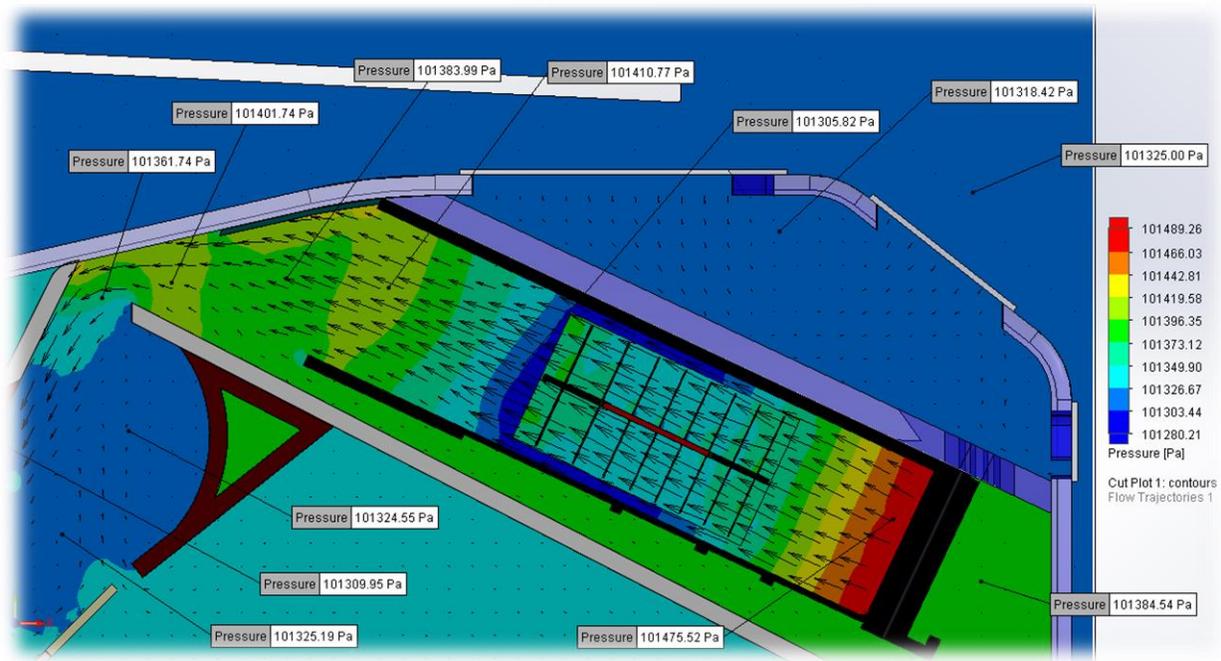
*Imagen 181 Corte de velocidades zona del ventilador en el prototipo 2 modificado.*



*Imagen 182 Corte de velocidades en la zona inferior del prototipo 2 modificado.*

Nótese por los vectores dirección que el aire se desplaza directamente hacia los abanicos y los peines, y solo hay muy poca desviación del aire por la parte superior del tambor, esto quiere decir que el deflector instalado adicionalmente funciona de manera satisfactoria.

En la Imagen 182 se aprecian los demás valores de velocidad alcanzados en el ensamble del prototipo 2, como se puede notar el aire llega a los abanicos a una velocidad de 5.661 m/s y sale por las aberturas a una velocidad de 2.06 m/s.

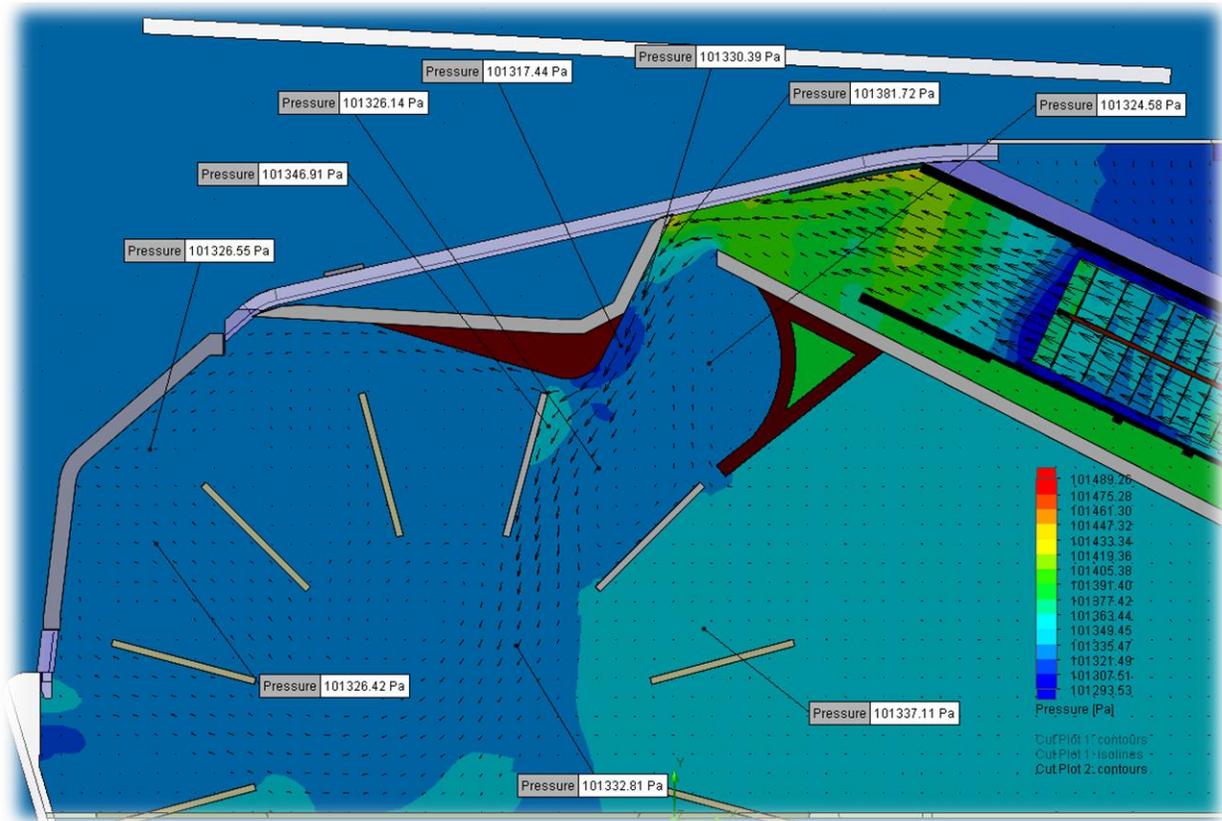


*Imagen 183 Distribución de presiones en la zona del ventilador del prototipo 2 modificado.*

En la Imagen 183 se logran apreciar las diferentes presiones que se tienen en la zona del ventilador, desde la succión, descarga y hasta chocar con el deflector. Nótese que en la succión se tienen valores de 101318 Pa, es decir, debajo de la presión atmosférica, esto es provocado por la succión del ventilador.

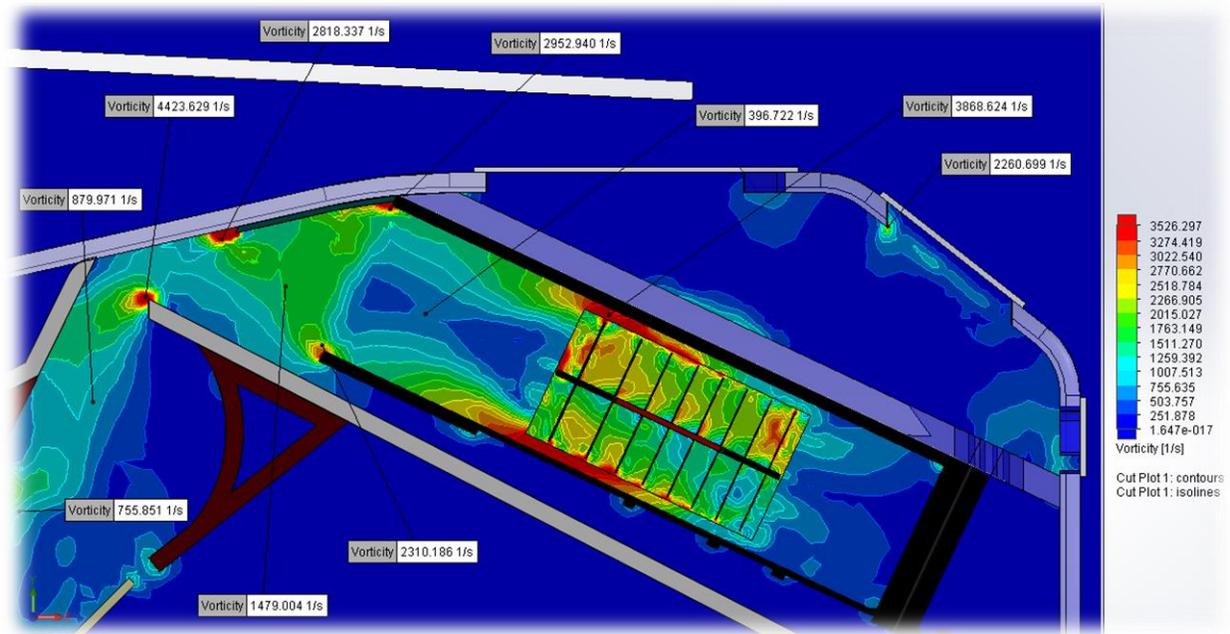
Inmediatamente el aire sale por la descarga del ventilador, provocándole un aumento en la presión, rondando valores de 101401 Pa hasta 101410 Pa.

Posteriormente al pasar el aire por el deflector y llega al tambor, al llegar a esta parte su presión cae a la presión atmosférica, como se aprecia en la Imagen 184.

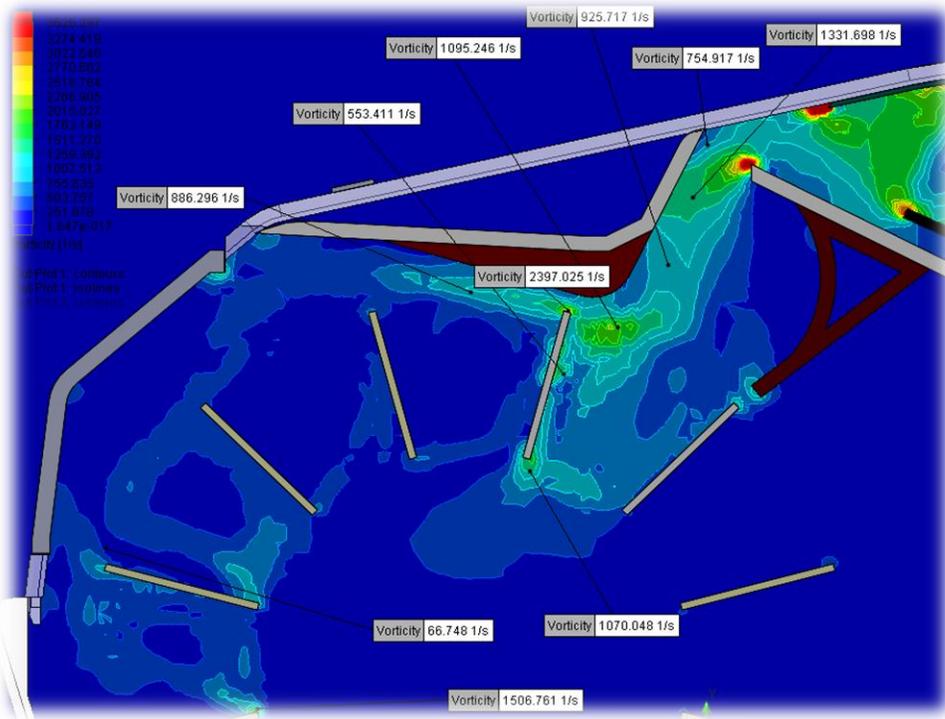


*Imagen 184 Distribución de presiones en la zona inferior del prototipo 2 modificado.*

En lo referente a vórtices generados en la zona del ventilador se ilustran en la Imagen 185 y en la Imagen 186 se muestran los vórtices generados en la zona inferior del prototipo 2; como se puede observar los valores más grandes se encuentran en todas las esquinas del prototipo, más sin embargo, no se expanden más allá de estos puntos, en la zona de los abanicos se tienen valores relativamente altos de vórtices de alrededor de 1070 a 1095 Hz, esto debido a que el aire pasa a través del pequeño espacio entre los abanicos, generando estos valores de vórtices.

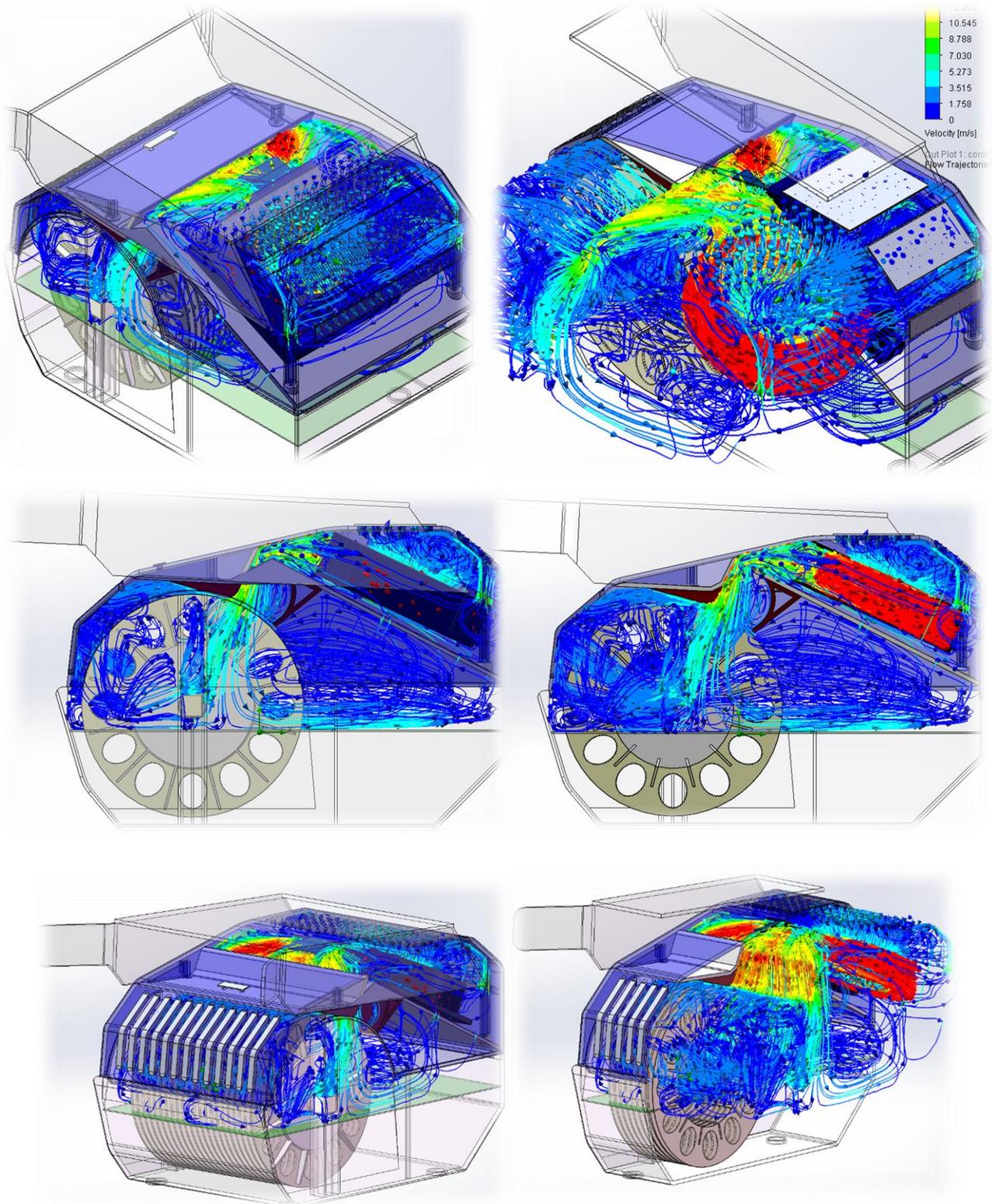


*Imagen 185 Vórtices generados en la zona del ventilador del prototipo 2 modificado.*

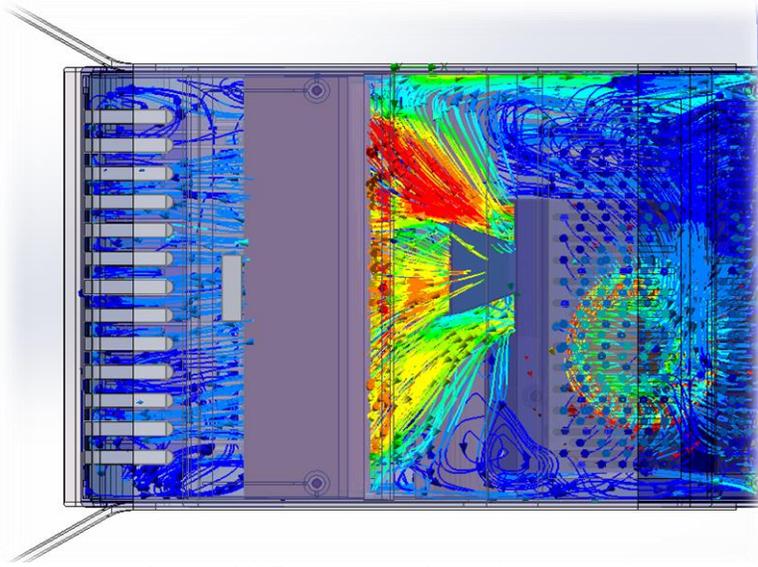


*Imagen 186 Vórtices generados en la zona inferior del prototipo 2 modificado.*

Para finalizar se muestran las trayectorias del fluido dentro del ensamble en diferentes vistas.



*Imagen 187 Trayectorias del fluido del prototipo 2 modificado.*



*Imagen 188 Trayectoria de fluido, vista superior.*

En la Imagen 188 se logra apreciar la distribución del aire que provoca la pequeña tobera instalada a la salida del ventilador, se observa un mejor resultado en comparación con lo obtenido de *Análisis 2, prototipo 2-B*).

Para terminar se muestran las tablas generadas por SolidWorks y de esta manera conocer el total del flujo volumétrico tanto a la entrada como a la salida.

*Tabla 14 Parámetros a la entrada del prototipo 2 modificado.*

<i>Local parameters</i>					
Parameter	Minimum	Maximum	Average	Bulk Average	Surface Area [m <sup>2</sup> ]
Pressure [Pa]	101308.865	101325.263	101321.71	101319.883	0.006855005
Velocity [m/s]	0.00024169	5.17792953	2.01964226	2.73416642	0.006855005
<i>Integral parameters</i>					
Parameter	Value	X-component	Y-component	Z-component	Surface Area [m <sup>2</sup> ]
Mass Flow Rate [kg/s]	0.016251449				0.006855005
Volume Flow Rate [m <sup>3</sup> /s]	0.013501768				0.006855005

Mediante estos resultados se puede apreciar que el valor del flujo volumétrico a la entrada del ventilador es de 0.0135 m<sup>3</sup>/s equivalente a 28.6 CFM, esto equivale a un valor de 4 CFM por encima de los resultados obtenidos con el contenedor superior con barrenos y solo 4.5 CFM del caudal ideal que se necesita, de 33.1 CFM.

Tabla 15 Parámetros a la salida del prototipo 2 modificado.

<i>Local parameters</i>					
Parameter	Minimum	Maximum	Average	Bulk Average	Surface Area [m <sup>2</sup> ]
Pressure [Pa]	101228.568	101373.475	101322.758	101325.745	0.010389959
Velocity [m/s]	0	8.39802473	2.3758489	2.68947123	0.010389959
<i>Integral parameters</i>					
Parameter	Value	X-component	Y-component	Z-component	Surface Area [m <sup>2</sup> ]
Mass Flow Rate [kg/s]	-0.016251449				0.010134386
Volume Flow Rate [m <sup>3</sup> /s]	-0.013501446				0.010134386

Se tiene que el flujo volumétrico a la salida del ventilador es de 0.0135 m<sup>3</sup>/s en dirección negativa, el signo solo indica que el aire sale, equivalente a 28.6 CFM.

Resumen para el análisis:

- El ventilador funciona de manera correcta, succionando el aire de la parte superior, pasando a través de las ranuras del contenedor superior y a la descarga del ventilador, estas ranuras provocan una mejor succión del aire ya que se dispone de mayor área para su entrada.
- Las velocidades de salida rondan valores de hasta 8.47 m/s, según Tabla 15 con un promedio de aproximadamente 2.376 m/s.
- El flujo volumétrico a la entrada respecto a la salida son muy similares y rondan el valor 28.6 CFM, muy cercano a los 33.1 CFM, ya que al hacer las ranuras en el contenedor superior se aumentó el área para la entrada del aire.
- Al hacer que el deflector cubriera la totalidad del contenedor superior se solucionó el problema que generaba la abertura que se tenía en el prototipo original, de esta manera todo el aire es dirigido hacia la zona del tambor, (Imagen 182).
- Los deflectores colocados en la base del deflector interior funcionaron de manera correcta dirigiendo el aire directamente hacia el tambor, simulando el efecto de un tubo de Venturi, además que se evitó que el aire rodeara la parte superior del tambor, que era por donde el aire se escapaba en el ensamble original, (Imagen 187).
- Por último la tobera que se colocó en la descarga del ventilador colaboró en gran medida para una mejor distribución del flujo de aire al dirigirse de manera más homogénea en dirección al deflector (Imagen 188).

➤ **Análisis 3, prototipo 2.**

B) Análisis de fluido considerando *geometría modificada* proponiendo el flujo volumétrico ideal de **33.1 CFM** como una entrada axial, para determinar velocidades de salida, distribución de presiones y vórtices en el ensamble general modificado. **(CFD, 2, MOD-B)**

Se hace un corte para poder visualizar con mayor detenimiento los elementos del ensamble general; el siguiente paso es crear las tapas que servirán para determinar los límites para el análisis,

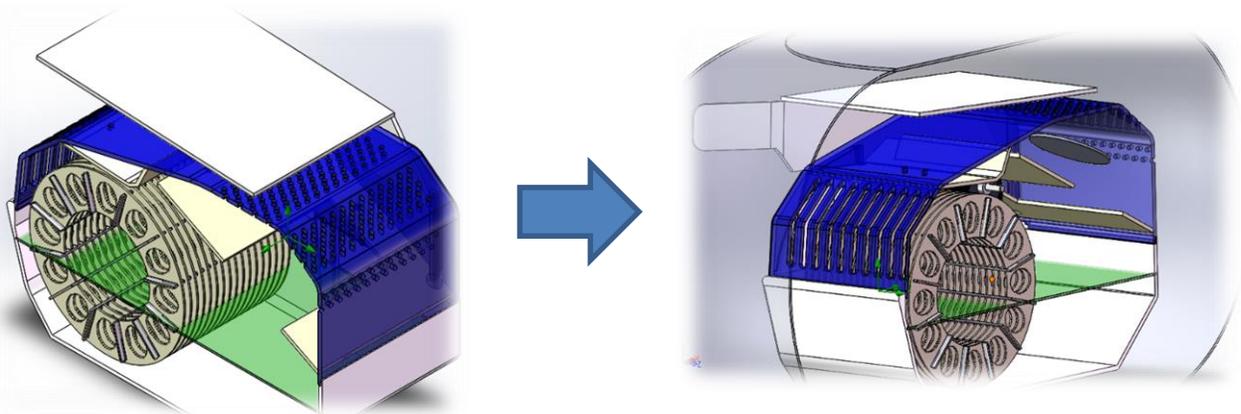


Imagen 189 Creacion de caras para la entrada de aire.

El siguiente paso es seleccionar las caras que estarán sometidas a la presión atmosférica y determinar la entrada del fluido.

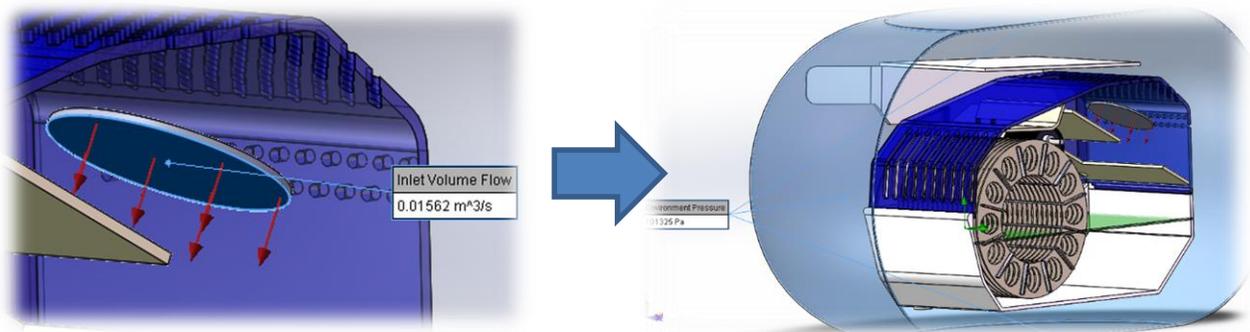
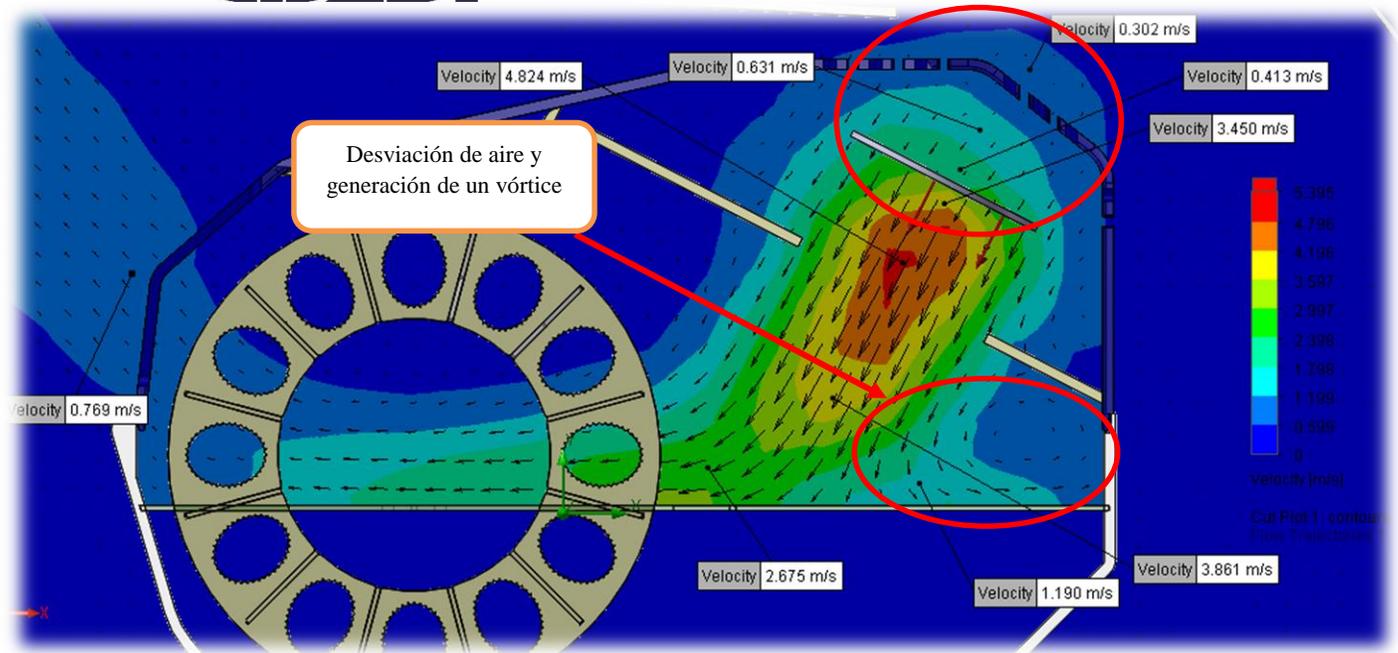


Imagen 190 Entrada de aire y caras sometidas a la presión atmosférica.

Después de esto se inician los cálculos del programa para visualizar los resultados.



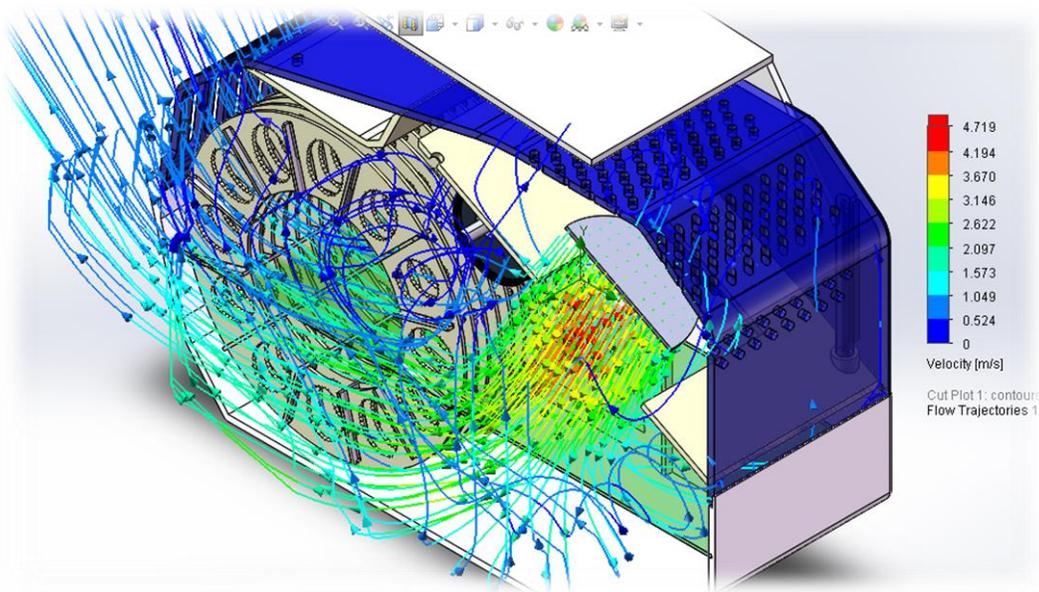
*Imagen 191 Corte de velocidades en el ensamble general, prototipo 2 modificado.*

Mediante este gráfico de distribución de velocidades (Imagen 191), se pueden ver las diferentes velocidades que el aire alcanza dentro del ensamble general, en esta sección se tienen velocidades máximas de 3.86 a 4.824 m/s en la zona de descarga del aire, que posteriormente va disminuyendo a medida que el aire se desplaza hacia los abanicos y chocando con el espejo de agua, llegando con una velocidad de 2.67 m/s.

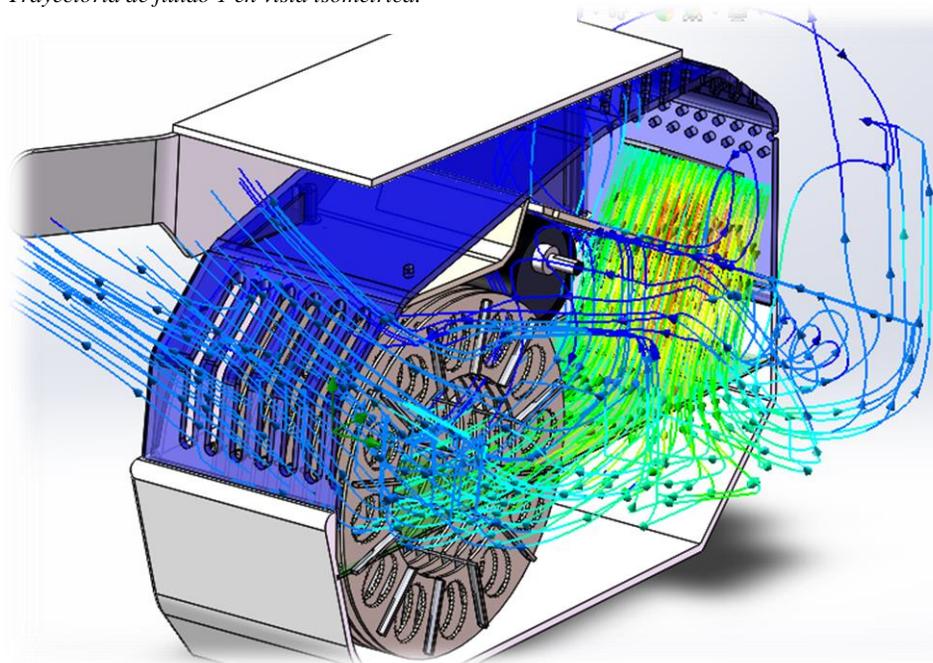
Nótese que la gran mayoría del aire entra a través de los peines y otra parte es desviada hacia atrás del tambor, generando un vórtice, posteriormente sale por los orificios del contenedor superior a una velocidad baja de 0.769 m/s.

Por la parte superior donde entra el aire se nota una succión por los orificios superiores del contenedor superior, esta succión alcanza velocidades de 0.302 a 0.631 m/s.

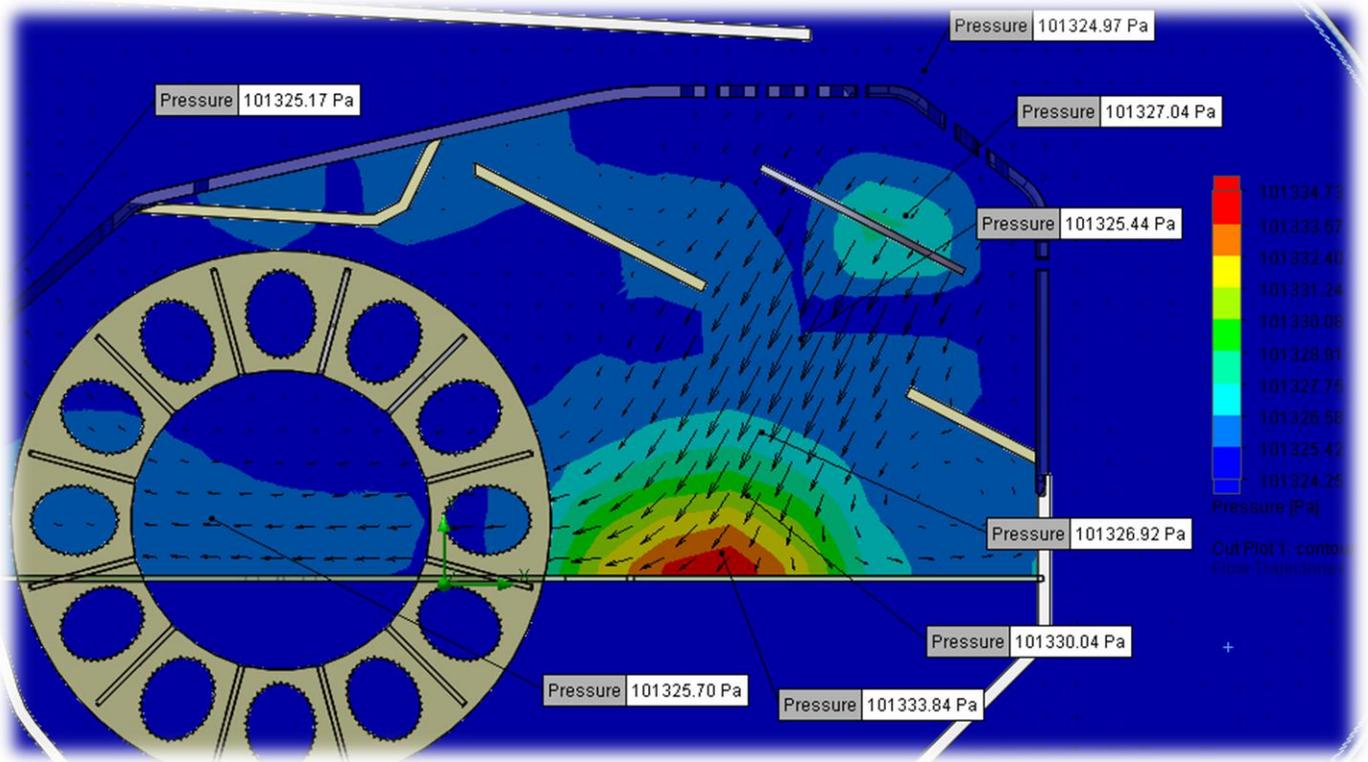
A continuación se puede apreciar de manera la trayectoria del fluido por el desalinizador (Imagen 192 e Imagen 193).



*Imagen 192 Trayectoria de fluido 1 en vista isometrica.*



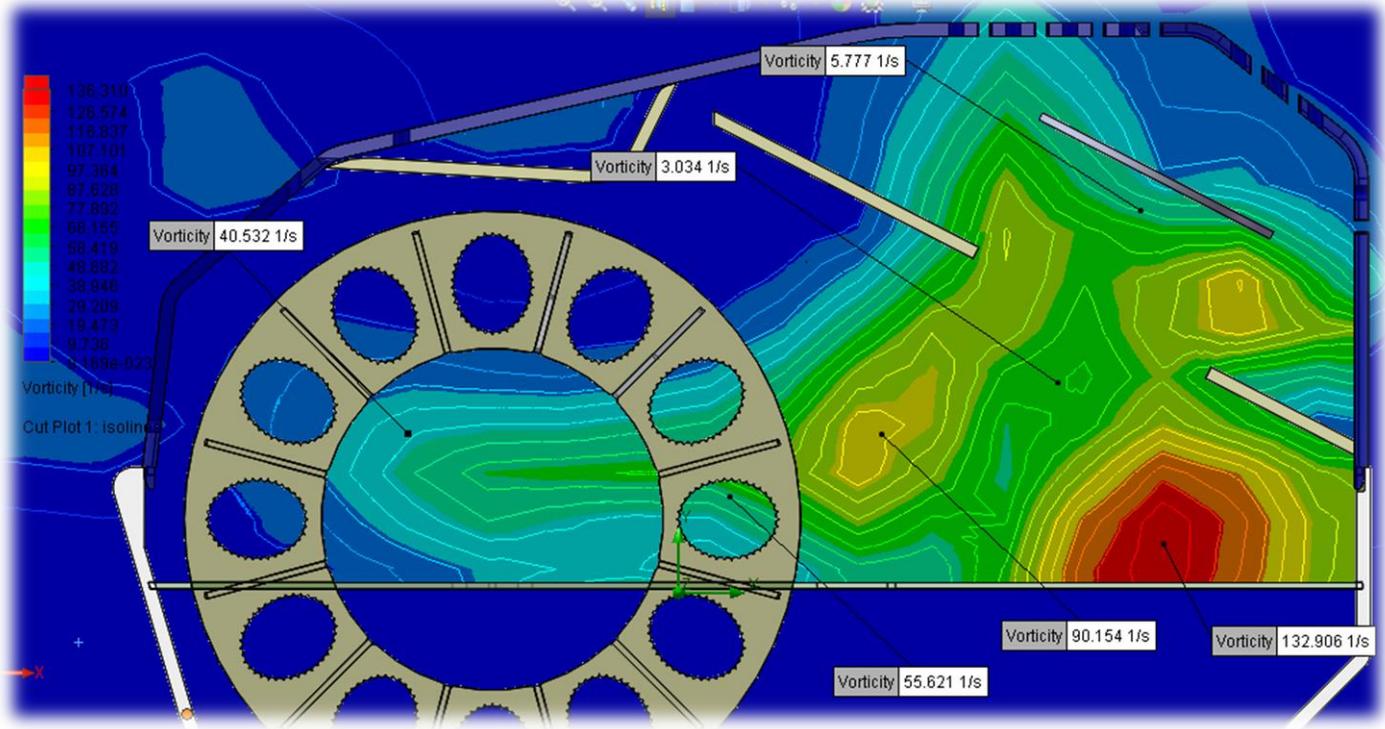
*Imagen 193 Trayectoria de fluido 1 en vista isometrica.*



*Imagen 194 Distribucion de presiones en el prototipo 2 modificado.*

En la Imagen 194 se distinguen las distribuciones de presiones dentro del ensamble general, estas tienen variaciones desde 101327Pa en la entrada del aire y máximas de 103333 Pa en el interior del ensamble en la zona de contacto del espejo de agua; en el resto del ensamble se tiene una presión similar a la atmosférica.

En lo referente a los vórtices Imagen 195 ilustra claramente las zonas en donde se generan con una mayor frecuencia, en los vórtices ubicados en la parte del espejo de agua (zona roja) se tienen los de mayor escala con un valor de 132.906 Hz; al pasar el aire por los abanicos solo se tienen vórtices de 55.61 Hz de magnitud.



*Imagen 195 Distribucion de vortices en el prototipo 2 modificado.*

**Resumen para el análisis:**

- El aire sale con una velocidad elevada, con máximos de 4.824 m/s y dentro del tambor se tienen velocidades de 2.67 m/s.
- Se cumple satisfactoriamente la trayectoria del fluido ya que la gran mayoría de este pasa por los abanicos del tambor y es muy poca la cantidad que se desvía (Imagen 191).
- Las presiones en el interior del desalinizador en la zona del tambor son homogéneas, ya que solo hay un aumento de 2Pa a la salida del aire lo cual es insignificante, para este análisis no se observa aumento de presión en los peines solo se nota un aumento de presión en la zona de contacto con el espejo de agua.

### 3.2 Comparativa de los resultados

Realizados estos análisis se realiza una comparativa de ventajas y desventajas en análisis CFD entre prototipo 1 y 2 para definir de la mejor alternativa de prototipo.

Se toman en cuenta dos secciones de mayor importancia en los prototipos:

- Prototipo 1: Presiones, velocidades y vórtices en orificios de la base del cono y abanicos del tambor. (Se toma más importancia al tambor ya que en este se forma la burbuja)
- Prototipo 2: Presiones, velocidades y vórtices en el deflector interior y abanicos del tambor.

#### Comparativa en prototipo 1

Tabla 16 Comparativa de resultados del prototipo 1.

Prototipo 1														
Nombre de la simulación	Nomenclatura	Presión máxima (KPa)		Presión mínima (KPa)		Velocidad máxima (m/s)		Velocidad mínima (m/s)		Vorticidad máxima (Hz)		Vorticidad mínima (Hz)		Caudal (CFM)
		Orificios	Abanicos	Orificios	Abanicos	Orificios	Abanicos	Orificios	Abanicos	Orificios	Abanicos	Orificios	Abanicos	
Análisis 2, prototipo 1- A	CFD, 1, EXC-A	101.663	101.368	101.511	101.327	47.872	5.651	46.972	4.568	3449	1648	3058	773	33.1
Análisis 2, prototipo 1- B	CFD, 1, EXC-B	108.485	101.328	101.871	101.328	13.47	3.951	11.623	2.32	731.312	44.015	454.297	40.754	33.1
Análisis 2, prototipo 1- C	CFD, 1, EXC-C	101.336	101.325	101.335	101.325	0.528	0.201	0.472	0.173	31.94	13.828	27.646	13.828	1.539
Análisis 3, prototipo 1- C	CFD, 1, MOD-C	101.402	101.325	101.326	101.325	1.014	0.325	0.514	0.319	35.03	30.038	27.174	25.711	1.803

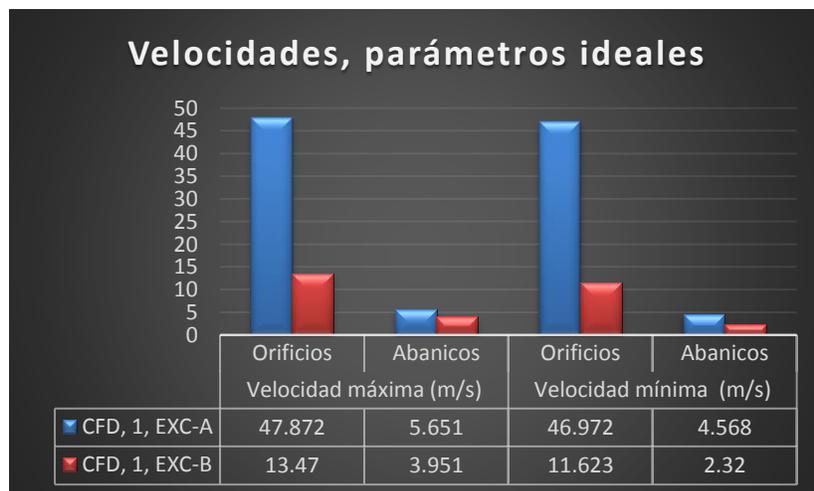
#### Comparativa del prototipo 1 usando parámetros ideales.

La Gráfica 1 realiza la comparación de análisis de flujo en el prototipo 1 con los parámetros ideales de 33.1 CFM. Teniendo el criterio de ser mejor, a mayor presión ejercida sobre los abanicos ya que de esta manera se garantizará la ruptura de la burbuja; se observa como mejor elección el análisis [CFD, 1, EXC-A](#) que ofrece la mayor presión sobre los abanicos.



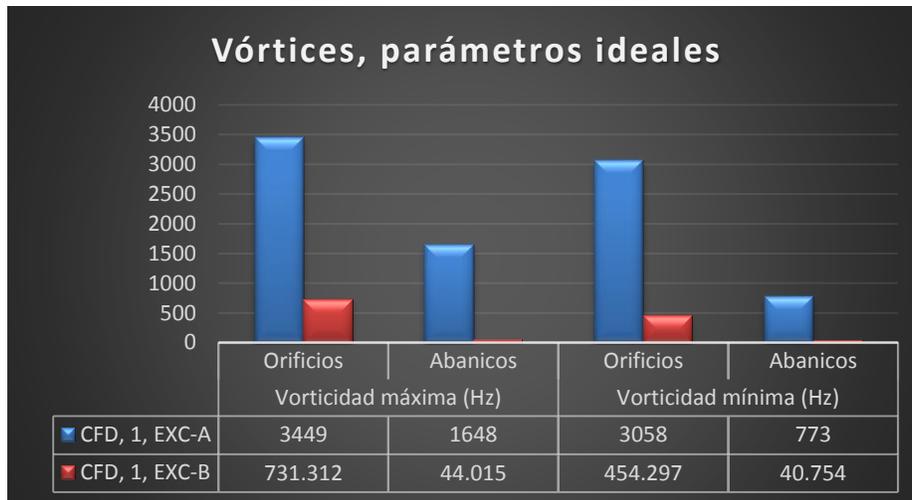
*Gráfica 1 Presiones representativas prototipo 1, con parámetros ideales.*

La Gráfica 2 realiza la comparación de análisis de flujo del prototipo 1 con los parámetros ideales de 33.1 CFM. Teniendo el criterio de ser mejor, a mayor velocidad del aire, ofrecerá mayor tensión superficial sobre la burbuja y esta garantizará su ruptura; se observa como mejor elección el análisis **CFD, 1, EXC-A** que ofrece la mayor velocidad de aire sobre los abanicos.



*Gráfica 2 Velocidades representativas prototipo 1, con parámetros ideales.*

La Gráfica 3 realiza la comparación de análisis de flujo del prototipo 1 con los parámetros ideales de 33.1 CFM. Teniendo el criterio de ser mejor, a mayor vorticidad del aire, ofrecerá mayor flujo turbulento e inestabilidad en tensión superficial sobre la burbuja y esta garantizará su ruptura; se observa como mejor elección el análisis **CFD, 1, EXC-A** que ofrece la mayor vorticidad de aire sobre los abanicos.

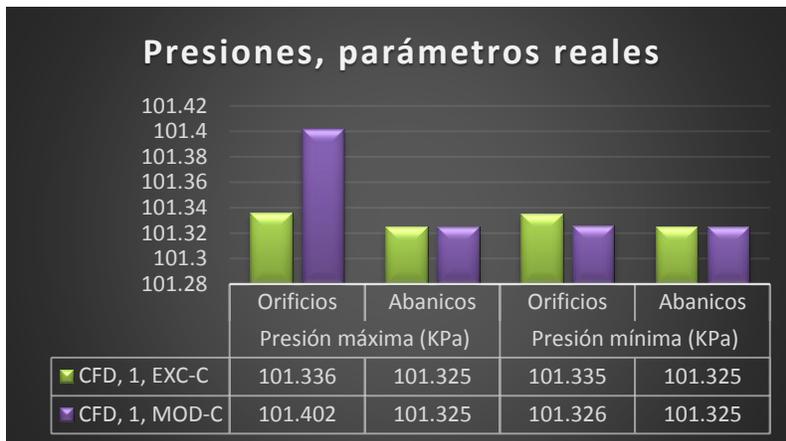


*Gráfica 3 Vórtices representativos prototipo 1, con parámetros ideales.*

Con esta comparativa de los resultados de los análisis del prototipo 1, teniendo como condición los parámetros ideales, se llega a la siguiente conclusión: El prototipo 1, evaluado como **CFD, 1, EXC-A** es la mejor alternativa ya que se tienen mayores niveles de presión, velocidad y vórtices en la zona de abanicos, garantizando de esta manera el rompimiento de la burbuja.

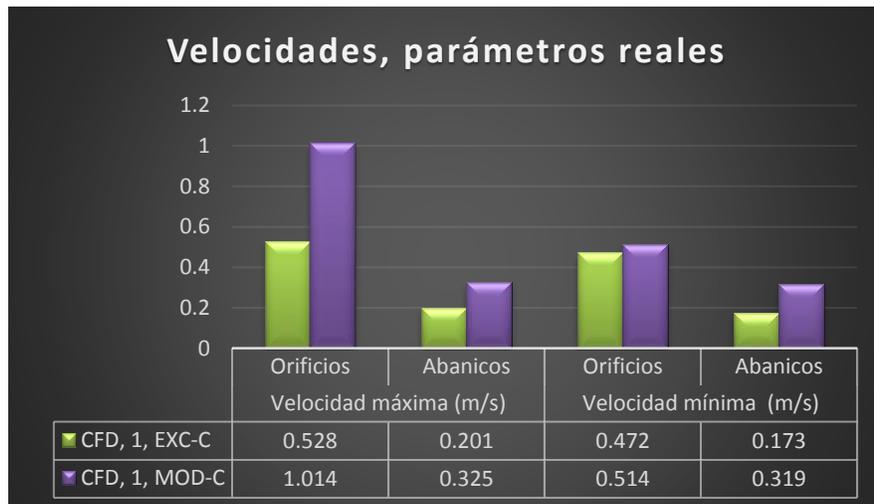
### **Comparativa del prototipo 1 usando parámetros reales.**

La Gráfica 4 realiza la comparación de análisis de flujo en el prototipo 1 con los parámetros reales de 1.539 y 1.803 CFM; se observa como mejor elección ambos análisis **CFD, 1, EXC-C y CFD, 1, MOD-C** que ofrecen presiones iguales sobre los abanicos.



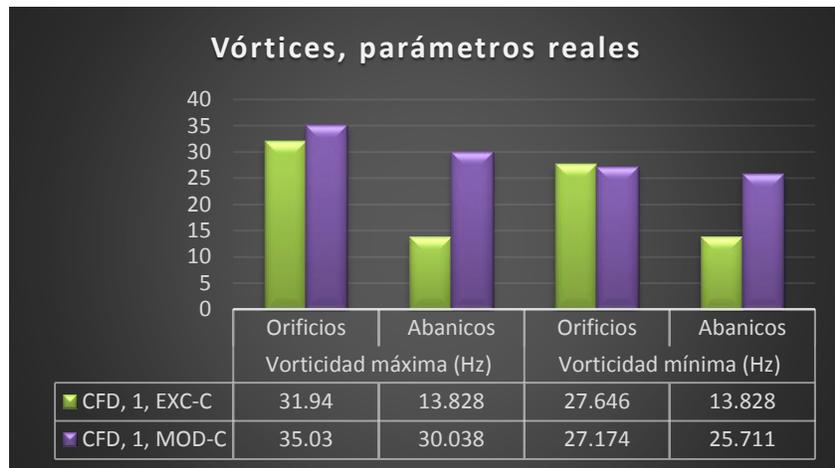
*Gráfica 4 Presiones representativas prototipo 1, con parámetros reales.*

La Gráfica 5 realiza la comparación de análisis de flujo del prototipo 1 con los parámetros reales de 1.539 y 1.803 CFM; se observa como mejor elección el análisis **CFD, 1, MOD-C** que ofrece la mayor velocidad de aire sobre los abanicos.



*Gráfica 5 Velocidades representativas prototipo 1, con parámetros reales.*

La Gráfica 6 realiza la comparación de análisis de flujo del prototipo 1 con los parámetros reales de 1.539 y 1.803 CFM; se observa como mejor elección el análisis **CFD, 1, MOD-C** que ofrece la mayor vorticidad de aire sobre los abanicos.



*Gráfica 6 Vórtices representativos prototipo 1, con parámetros reales.*

Con esta comparativa de los resultados de los análisis del prototipo 1, teniendo como condición los parámetros reales, se llega a la siguiente conclusión: El prototipo 1, evaluado como **CFD, 1, MOD-C** es la mejor alternativa ya que se tienen mayores niveles de presión, velocidad y vórtices en la zona de abanicos, garantizando de esta manera el rompimiento de la burbuja.

### Comparativa en prototipo 2

*Tabla 17 Comparativa de resultados del prototipo 2.*

Prototipo 2														
Nombre de la simulación	Nomenclatura	Presión máxima (KPa)		Presión mínima (KPa)		Velocidad máxima (m/s)		Velocidad mínima (m/s)		Vorticidad máxima (Hz)		Vorticidad mínima (Hz)		Caudal (CFM)
		Deflector	Abanicos	Deflector	Abanicos	Deflector	Abanicos	Deflector	Abanicos	Deflector	Abanicos	Deflector	Abanicos	
Análisis 1, prototipo 2- A	CFD, 2, EX-A	101.411	101.349	101.328	101.326	12.733	5.229	9.544	0.649	2846.25	345.24	1744.97	124.214	24.79
Análisis 2, prototipo 2- A	CFD, 2, EXC-A	101.493	101.335	101.35	101.324	8.794	2.984	5.013	2.797	559.787	480.584	520.792	289.364	33.1
Análisis 3, prototipo 2- A	CFD, 2, MOD-A	101.381	101.347	101.33	101.326	13.341	7.541	10.436	1.211	1331.69	1070.04	754.917	553.411	28.6
Análisis 3, prototipo 2- B	CFD, 2, MOD-B	0	101.327	0	101.325	0	2.675	0	1.798	0	55.621	0	40.532	33.1

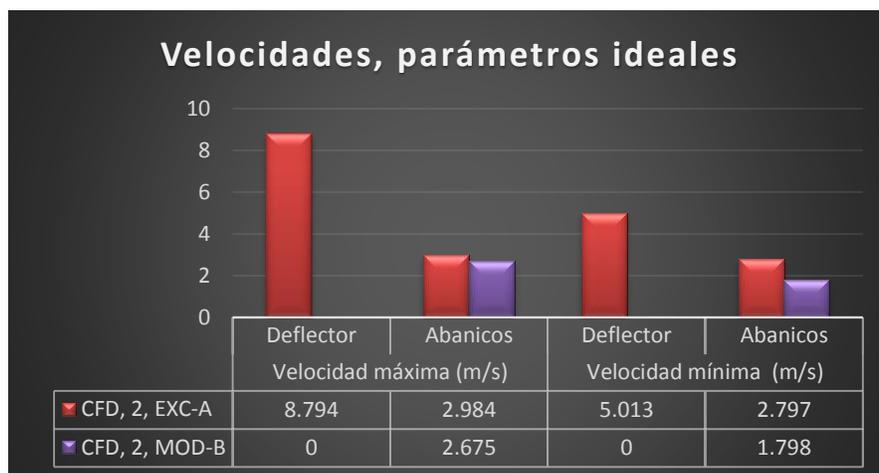
**Comparativa del prototipo 2 usando parámetros ideales.**

La Gráfica 7 realiza la comparación de análisis de flujo en el prototipo 2 con los parámetros ideales de 33.1 CFM. Teniendo el criterio de ser mejor, a mayor presión ejercida sobre los abanicos ya que de esta manera se garantizará la ruptura de la burbuja; se observa como mejor elección el análisis **CFD, 2, EXC-A** que ofrece la mayor presión sobre los abanicos.



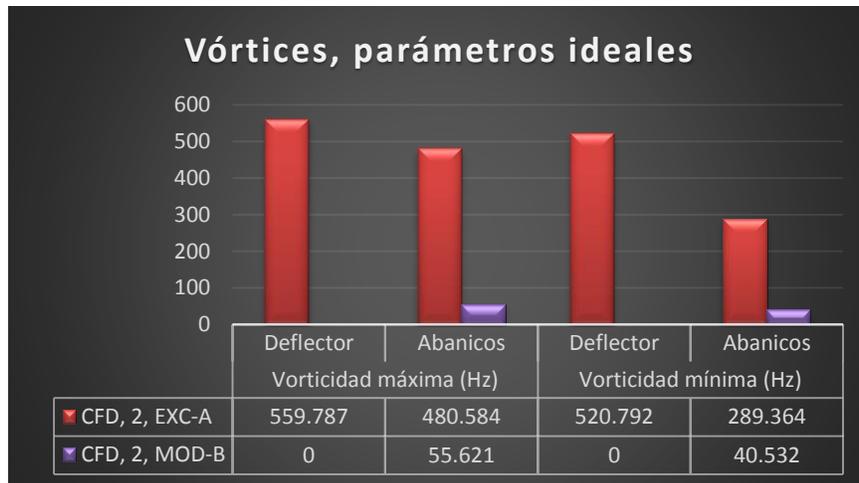
Gráfica 7 Presiones representativas prototipo 2, con parámetros ideales.

La Gráfica 8 realiza la comparación de análisis de flujo del prototipo 2 con los parámetros ideales de 33.1 CFM. Teniendo el criterio de ser mejor, a mayor velocidad del aire, ofrecerá mayor tensión superficial sobre la burbuja y esta garantizará su ruptura; se observa como mejor elección el análisis **CFD, 2, EXC-A** que ofrece la mayor velocidad de aire sobre los abanicos.



Gráfica 8 Velocidades representativas prototipo 2, con parámetros ideales.

La Gráfica 9 realiza la comparación de análisis de flujo del prototipo 2 con los parámetros ideales de 33.1 CFM. Teniendo el criterio de ser mejor, a mayor vorticidad del aire, ofrecerá mayor flujo turbulento e inestabilidad en tensión superficial sobre la burbuja y esta garantizará su ruptura; se observa como mejor elección el análisis **CFD, 2, EXC-A** que ofrece la mayor vorticidad de aire sobre los abanicos.

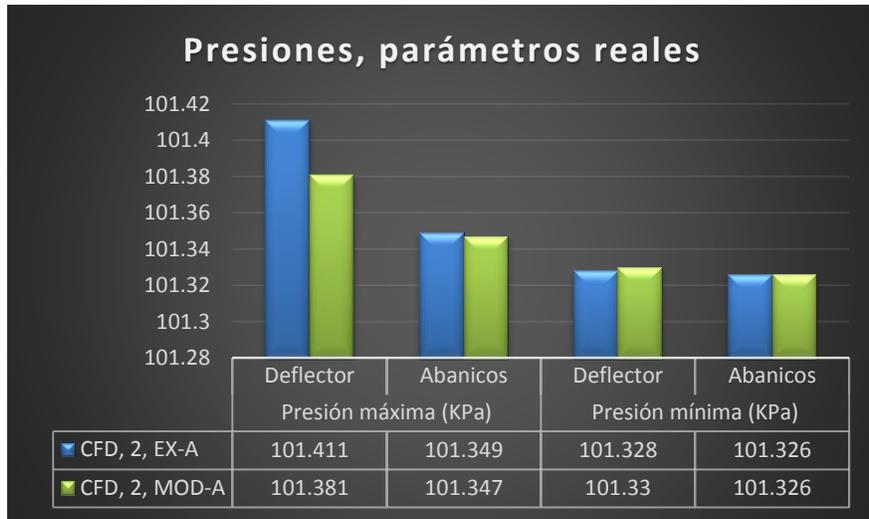


*Gráfica 9 Vórtices representativos prototipo 2, con parámetros ideales.*

Con esta comparativa de los resultados de los análisis del prototipo 2, teniendo como condición los parámetros ideales, se llega a la siguiente conclusión: El prototipo 2, evaluado como **CFD, 2, EXC-A** es la mejor alternativa ya que se tienen mayores niveles de presión, velocidad y vórtices en la zona de abanicos, garantizando de esta manera el rompimiento de la burbuja.

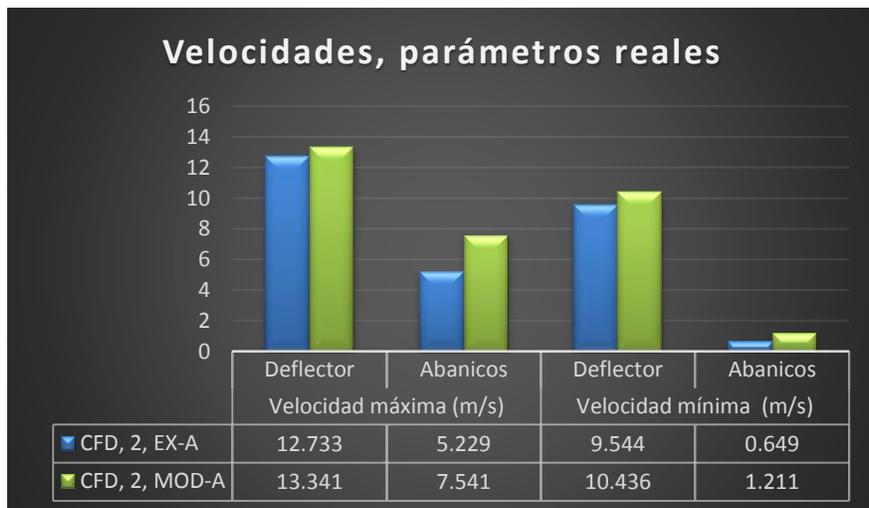
**Comparativa del prototipo 2 usando parámetros reales.**

La Gráfica 10 realiza la comparación de análisis de flujo en el prototipo 2 con los parámetros reales de 24.79 y 28.6 CFM; se observa como mejor elección el análisis **CFD, 2, MOD-A** que ofrece la mayor presión sobre los abanicos.



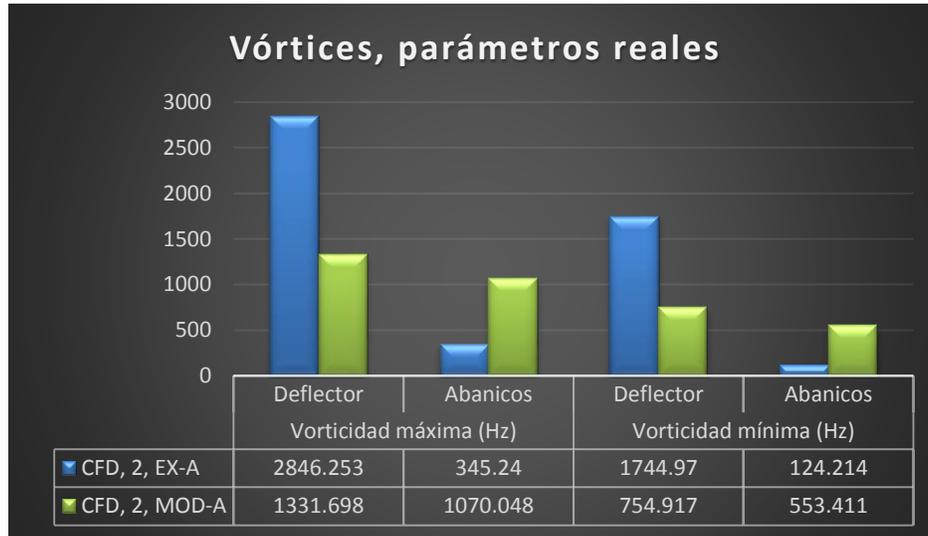
*Gráfica 10 Presiones representativas prototipo 2, con parámetros reales.*

La Gráfica 11 realiza la comparación de análisis de flujo del prototipo 2 con los parámetros reales de 24.79 y 28.6 CFM; se observa como mejor elección el análisis **CFD, 2, MOD-A** que ofrece la mayor velocidad de aire sobre los abanicos.



*Gráfica 11 Velocidades representativas prototipo 2, con parámetros reales.*

La Gráfica 12 realiza la comparación de análisis de flujo del prototipo 2 con los parámetros reales de 24.79 y 28.6 CFM; se observa como mejor elección el análisis [CFD, 2, EX-A](#) que ofrece la mayor vorticidad de aire sobre los abanicos.



Gráfica 12 Vórtices representativos prototipo 2, con parámetros reales.

Con esta comparativa de los resultados de los análisis del prototipo 2, teniendo como condición los parámetros reales, se llega a la siguiente conclusión: El prototipo 2, evaluado como [CFD, 2, MOD-A](#) es la mejor alternativa ya que se tienen mayores niveles de presión y velocidad en la zona de abanicos, garantizando de esta manera el rompimiento de la burbuja.

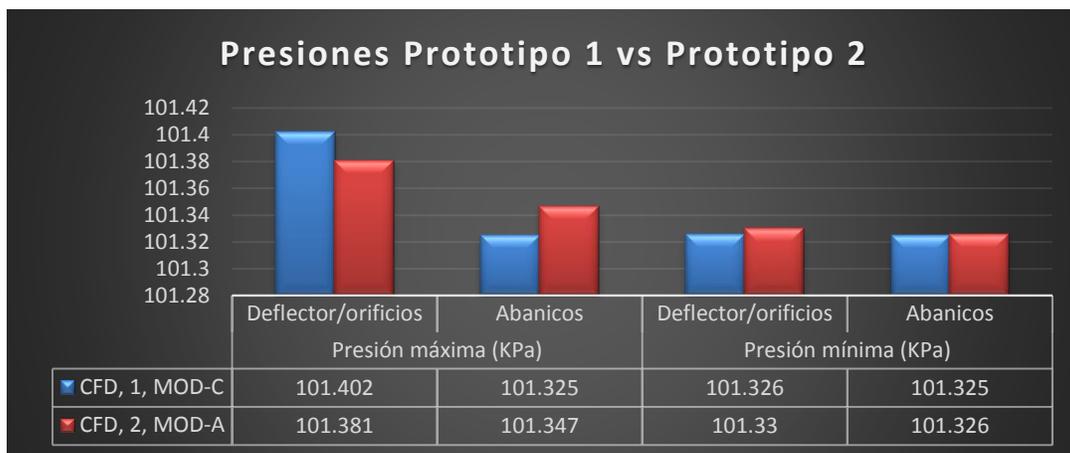
**Comparativa Prototipo 1 vs Prototipo 2**

Tabla 18 Comparativa de resultados del prototipo 1 vs prototipo 2.

Prototipo 1 v/s Prototipo 2														
Nombre de la simulación	Nomenclatura	Presión máxima (KPa)		Presión mínima (KPa)		Velocidad máxima (m/s)		Velocidad mínima (m/s)		Vorticidad máxima (Hz)		Vorticidad mínima (Hz)		Caudal (CFM)
		Deflector /orificios	Abanicos	Deflector /orificios	Abanicos	Deflector /orificios	Abanicos	Deflector /orificios	Abanicos	Deflector /orificios	Abanicos	Deflector /orificios	Abanicos	
Análisis 3, prototipo 1- C	CFD, 1, MOD-C	101.402	101.325	101.326	101.325	1.014	0.325	0.514	0.319	35.03	30.038	27.174	25.711	1.803
Análisis 3, prototipo 2- A	CFD, 2, MOD-A	101.381	101.347	101.33	101.326	13.341	7.541	10.436	1.211	1331.69	1070.04	754.917	553.411	28.6

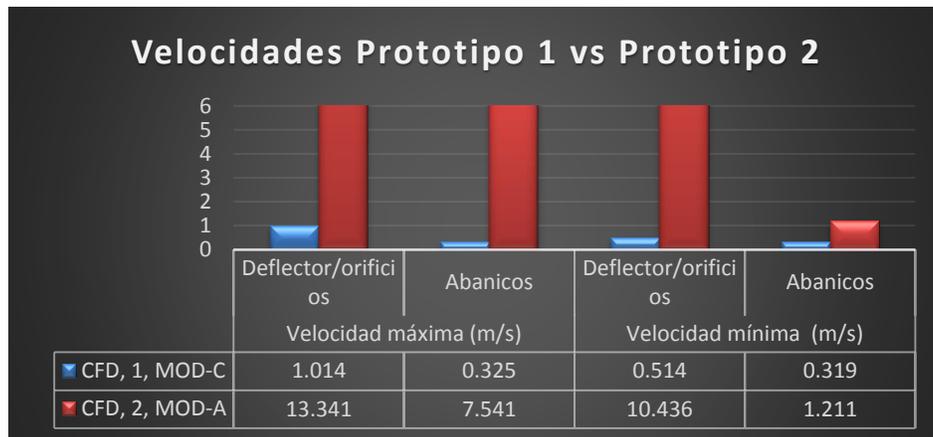
Para la realización de la comparativa entre prototipo 1 y prototipo 2 solo se seleccionaron las simulaciones en donde se usan los parámetros ideales, ya estos resultados se apegan más a la realidad.

La Gráfica 13 realiza la comparación de análisis de flujo entre los prototipos 1 y 2 seleccionados a partir del mejor desempeño mostrado en análisis. Teniendo el criterio de ser mejor, a mayor presión ejercida sobre la burbuja se garantizará su ruptura; se observa como mejor elección el análisis **CFD, 2, MOD-A** que ofrece la mayor presión sobre los abanicos.



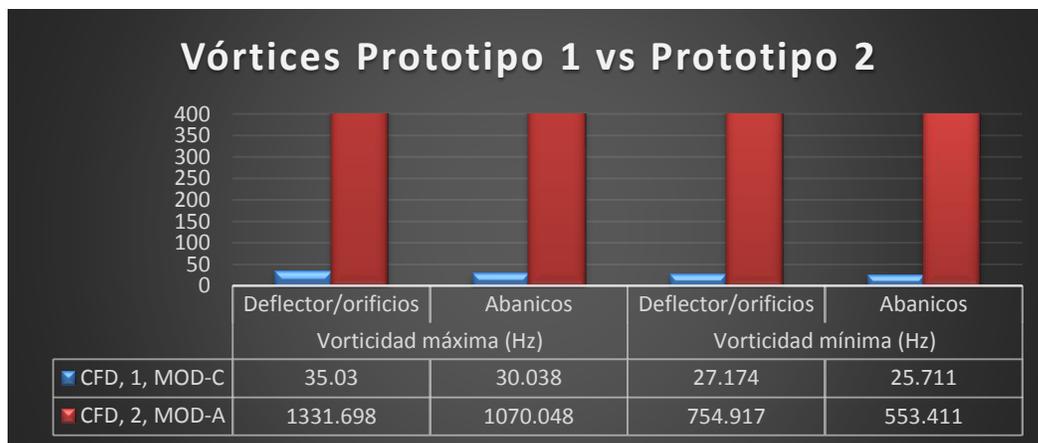
*Gráfica 13 Presiones representativas, prototipo 1 vs prototipo 2.*

La Gráfica 14 realiza la comparación de análisis de flujo entre los prototipos 1 y 2 seleccionados a partir del mejor desempeño mostrado en análisis. Teniendo el criterio de ser mejor, a mayor velocidad del aire, ofrecerá mayor tensión superficial sobre la burbuja y esta garantizará su ruptura; se observa como mejor elección el análisis **CFD, 2, MOD-A** que ofrece la mayor velocidad de aire sobre los abanicos.



*Gráfica 14 Velocidades representativas, prototipo 1 vs prototipo 2.*

Este gráfico realiza la comparación de análisis de flujo entre los prototipos 1 y 2 seleccionados a partir del mejor desempeño mostrado en análisis. Teniendo el criterio de ser mejor, a mayor vorticidad del aire, ofrecerá mayor flujo turbulento e inestabilidad en tensión superficial sobre la burbuja y esta garantizará su ruptura; se observa como mejor elección el análisis **CFD, 2, MOD-A** que ofrece la mayor vorticidad de aire sobre los abanicos.



*Gráfica 15 Vórtices representativos, prototipo 1 vs prototipo 2.*

Con esta comparativa de los resultados de los análisis del prototipo 1 y 2, teniendo como condición los parámetros reales, se llega a la siguiente conclusión: El prototipo 2, evaluado como **CFD, 2, MOD-A** es la mejor alternativa ya que se tienen mayores niveles de presión, velocidad y vórtices en la zona de abanicos, garantizando de esta manera el rompimiento de la burbuja; se recomienda usar este prototipo ya que también ofrece mejores resultados en trayectorias de fluido.

### 3.3 Conclusiones y recomendaciones

Con la realización de este proyecto se consigue el modelado de todas las piezas de los dos prototipos desalinizadores, incluyendo también los ensambles de ambos. También se rediseñan algunos componentes claves para un mejor funcionamiento de los prototipos.

Se logra determinar con el presente estudio la magnitud y distribución de flujo producidos por el aire, simulando condiciones en sus diversas modalidades, tales como trayectorias de fluido, posibles vórtices, distribución de presión y velocidad de aire sobre los prototipos 1 y 2; el estudio fue realizado sobre la cámara interior de ambos prototipos.

Se consigue que los prototipos 1 y 2 modificados funcionen de una manera más óptima respecto a los prototipos sin modificaciones; en base a las trayectorias de fluido en su interior, velocidades, niveles de presión, flujos volumétricos y valores de vorticidad. Ya que con la ayuda del programa SolidWorks-2014 y la herramienta Flow Simulation-2014 se recabó información de cada uno de los análisis siendo posible visualizar las variaciones de salida que ofrece el cambio de parámetros de entrada en ambos prototipos.

De acuerdo a los resultados obtenidos de las simulaciones realizadas a las diferentes configuraciones de entradas de aire sobre los prototipos 1 y 2, se observó en base a las tablas comparativas que:

- El prototipo 2 respecto al prototipo 1 (ambos con geometría sin modificar), se desempeña de una mejor manera, ya que se tiene un mayor flujo de aire sobre el tambor que sostiene a los abanicos, dando también una mayor ventaja respecto a la velocidad del aire que pasa sobre estos abanicos en el prototipo 2 (Tabla 16 y Tabla 17).
- El prototipo 1 con modificaciones (CFD, 1, MOD-C), es una buena alternativa, ya que ofrece una geometría en la que los barrenos de la base del cono funcionan como tubos Venturi, aumentando la velocidad del aire al pasar por ellos, por lo tanto, el aire llega a los abanicos con suficiente velocidad.

- Las ventajas del prototipo 1 modificado son:
  - El deflector instalado en la base del cono (Imagen 144), funciona como una barrera al aire, ya que lo concentra sobre los barrenos de la base del cono, evitando que el aire se distribuya en toda la cúpula; de esta manera se tiene más presión en la cúpula y mayor velocidad al pasar por los barrenos.
  - La geometría de la rejilla es una ventaja, ya que no ofrece resistencia a la salida del aire.
  
- Las desventajas del prototipo 1 modificado son:
  - El ventilador instalado no logra proporcionar el caudal deseado de 33.1 CFM, pese al rediseño de las aspas se logró solo una succión de 5.085 a 5.034 CFM; se sugiere seleccionar otro ventilador que proporcione un mayor caudal de aire, o cambiar el tipo de motor para tener mayores RPM y con esto mayor caudal de aire.
  - La cúpula de cono actúa como un filtro, provocando un menor paso de aire, se sugiere hacer ranuras o dejar a la entrada completamente libre, para de esta manera, el aire tenga un paso libre hasta llegar al ventilador.
  
- El Prototipo 2 con modificaciones (CFD, 2, MOD-A), es la mejor alternativa ya que ofrece mejores resultados, tanto en las trayectorias del fluido en su interior y valores de presión, velocidad y vorticidad en la sección de los abanicos, garantizando el rompimiento de la burbuja.
  
- Las ventajas del prototipo 2 modificado son:
  - El deflector expandido dirige el flujo de aire directamente hacia el tambor, sin ningún escape de aire como el observado en análisis CFD, 2, EX-A.
  - La tobera instalada en la descarga del ventilador distribuye el aire de manera más homogénea, en comparación con el análisis CFD, 2, EX-A.

- Los deflectores instalados en el prototipo (Imagen 176), ayudan a evitar el escape de aire que se tenía anteriormente, en donde el aire pasaba sobre los abanicos y no a través de ellos.
  
- Las desventajas del prototipo 2 modificado son:
  - Las ranuras que se colocaron en (CFD, 2, MOD-A), ayudaron al mayor paso de flujo de aire, sin embargo es recomendable dejar a la entrada completamente libre, para de esta manera, el aire tenga un paso libre hasta llegar al ventilador.
  
- Las simulaciones realizadas sobre los prototipos 1 y 2 con condiciones de entrada de aire de 33.1 CFM, sirven solamente para una referencia de un funcionamiento ideal de los prototipos, ya que lograr estas condiciones no sería posible, debido a que en la realidad intervienen más factores. Aun así, en las tablas 16 y 17 se observa que el prototipo 2 respecto al 1 se desempeña de una mejor manera, en los parámetros de velocidad y distribución de flujo sobre los abanicos del tambor.

**Nota:**

Una elevada vorticidad puede generar turbulencia e inestabilidad a la formación de burbuja; por lo que será necesario una investigación experimental sobre el rango de magnitud necesaria para creación de burbuja sujeta a los parámetros de velocidad y presión; investigación que no se contempla en este proyecto.

## Referencias

- [1] David, Dennis Malo. (25 de Junio de 2012). *scribd*. Obtenido de <http://es.scribd.com/doc/98226661/Mecanica-de-Fluidos-Trabajo#scribd>
- [2] Molero, Á. P., & Carlos Garre, d. (s.f.). *Técnicas Avanzadas de Gráficos 3D*. Obtenido de Dinámica de Fluidos: [http://www.gmrv.es/~cgarre/TAG3D\\_CFD.pdf](http://www.gmrv.es/~cgarre/TAG3D_CFD.pdf)
- [3] Marín, Daniel Jacobo. (Noviembre de 2010). *Eumed.net*. Obtenido de <http://www.eumed.net/rev/cccss/10/djm2.htm>
- [4] Edmundo Fayanás Escuer. (23 de Julio de 2011). *nuevatribuna.es*. Obtenido de <http://www.nuevatribuna.es/articulo/medio-ambiente/-es-la-desalacin-el-futuro-del-agua-en-el-mundo/20110723190425058416.html>
- [5] Raúl Calixto Flores. (Octubre de 2010). *Eumed.net*. Obtenido de <http://www.eumed.net/rev/delos/09/rcf.htm>
- [6] Naturatips. (2015). Obtenido de Métodos para la obtención del agua: <http://naturatips.com/agua/el-agua.html>
- [7] Openms.es. (2015). *Tecnologías necesarias*. Obtenido de <http://www.openms.es/noticias/crear-agua-del-aire-ya-es-posible>
- [8] SMART. (2015). *smart-fertilizer.com*. Obtenido de <http://www.smart-fertilizer.com/es/articles/chlorine-water-disinfection>
- [9] SolidWorks Corp. (2015). *Dinámica de fluidos computacional (CFD)*. Obtenido de <http://www.solidworks.es/sw/products/simulation/computational-fluid-dynamics.htm>
- [10] Baeza, V. O. (2007). *gvepinternational*. Obtenido de [http://www.gvepinternational.org/sites/default/files/resources/Presentation\\_Desalinizacion\\_solar.pdf](http://www.gvepinternational.org/sites/default/files/resources/Presentation_Desalinizacion_solar.pdf)
- [11] Grundfos. (2015). *El Léxico Grundfos CBS*. Obtenido de [http://cbs.grundfos.com/BGE\\_Spain/lexica/HEA\\_Dynamic\\_pressure.html#](http://cbs.grundfos.com/BGE_Spain/lexica/HEA_Dynamic_pressure.html#)
- [12] GAZOLAZ, D. C. (03 de junio de 2011). *LAS ECUACIONES DE NAVIER-STOKES*. Obtenido de <http://garf.ub.es/milenio/img/Navier-Stokes.pdf>
- [13] Bourbaki, N. (2008). *slideshare*. Obtenido de El problema de existencia y regularidad para las ecuaciones de Navier-Stokes: <http://es.slideshare.net/DannyLobo/ecuaciones-de-navier-stokes>

## ANEXOS

Anexo A .....	169
Variación de flujo volumétrico .....	169
Anexo B.....	171
Turbulencia.....	171
Anexo C.....	172
Vórtice.....	172
Anexo D .....	173
Cálculos de ventilador.....	173
Anexo E.....	178
Renderizados: .....	178

## Anexo A

### Variación de flujo volumétrico

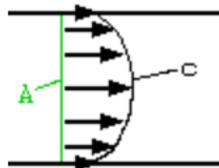
Flujo volumétrico: Se acepta que el flujo volumétrico significa el volumen de un medio que se mueve a través de una sección transversal dentro de un período de tiempo dado.

$$Q = \dot{V} = \frac{dV}{dt}$$

**Q:** flujo volumétrico en [m<sup>3</sup>/s], [l/min], [m<sup>3</sup>/h]

**V:** volumen en [cm<sup>3</sup>], [dm<sup>3</sup>], [m<sup>3</sup>]

**t:** tiempo en [s], [min], [h],



Velocidad de flujo en un tubo

La siguiente relación aplica adicionalmente a líquidos y gases:

$$V = \dot{c} * A$$

**V:** flujo volumétrico en [m<sup>3</sup>/s]

**c:** velocidad de flujo media en [m/s]

**A:** sección transversal en el punto pertinente en [m<sup>2</sup>]

Donde se conoce la superficie de la sección transversal (tubos, canales) se puede usar esta fórmula para calcular el flujo volumétrico, siempre que se mida la velocidad del flujo<sup>1</sup>.

Flujo másico: La cantidad de masa que pasa por una sección transversal por unidad de tiempo se conoce como flujo másico<sup>2</sup>.

$$\dot{m} = \rho AV$$

<sup>1</sup> Medición de flujo volumétrico, en: <http://www.academiatesto.com.ar/cms/medicion-del-flujo-volumetrico>

<sup>2</sup> Pacheco H. Gerardo, Rojas T, Hernandez Q. Gasto másico y potencia de una bomba. *Laboratorio de Termodinámica*. <http://dcb.fi-c.unam.mx/CoordinacionesAcademicas/FisicaQuimica/Termodinamica/gastompbomba.pdf>.

Donde:

$m$  = flujo másico [kg/s]

$\rho$  = densidad del fluido de trabajo [kg/m<sup>3</sup>]

$A$  = sección transversal por donde se desplaza el fluido [m<sup>2</sup>]

$V$  = velocidad a la cual se desplaza el fluido [m/s]

Cuando se expone la masa o la razón de flujo másico, entonces la cantidad se define claramente. Sin embargo, cuando el volumen o la razón de flujo volumétrico es expuesta, la cantidad no queda claramente definida si se desconoce la densidad del fluido<sup>3</sup>.

Para los líquidos, la densidad cambia con la presión y la temperatura.

- El cambio en la densidad debido a la presión es pequeña y no se toma generalmente en cuenta. Los líquidos no son usualmente muy compresibles.
- El cambio en la densidad debido a la temperatura es más significativo y sí se debe tomar en cuenta.

Para los gases, la densidad cambia con la presión, la temperatura y la compresibilidad.

- El efecto de la temperatura y la presión sobre la densidad es muy significativo, por ende, sus efectos siempre deben tomarse en cuenta.
- El efecto de la compresibilidad es relativamente menor en comparación, pero debe tomarse en cuenta para los cálculos exactos.

Con esto se puede decir que el flujo másico no varían respecto a entrada y salida, solo lo hace los el flujo volumétrico.

De la ecuación 1 se tiene:

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2$$

$$\rho_1 A_1 c_1 = \rho_2 A_2 c_2$$

De la ecuación 2 se tiene:

$$\dot{V}_1 \neq \dot{V}_2$$

---

<sup>3</sup> Cubaeduca. *Medición de flujo*. En: <http://educaciones.cubaeduca.cu/medias/pdf/2454.pdf>.

$$\dot{V}_1 = \frac{\dot{m}_1}{\rho_1} \quad y \quad \dot{V}_2 = \frac{\dot{m}_2}{\rho_2}$$

Si las densidades son las mismas se tendrán los mismos flujos volumétricos de entrada y salida. Pero dado que en gases las densidades son afectadas por presión, temperatura y compresibilidad es necesario tomarla en cuenta para los cálculos.

## **Anexo B**

### **Turbulencia**

El fenómeno de la turbulencia ha sido estudiado por un buen número de científicos a lo largo de más de 150 años. Desafortunadamente durante casi todo este tiempo no se le pudo dar una explicación satisfactoria. No fue sino hasta el decenio 1980-1990 que finalmente se ha empezado a entender el fenómeno de la turbulencia en términos de caos<sup>4</sup>.

A través de la palabra turbulencia se puede referir la cualidad de turbio o de turbulento que observa algo o alguien. Mientras tanto, algo turbio será aquello que se destaca por su poca claridad y por la confusión que propone.

Y en Física la turbulencia es la extensión en la cual un fluido ostenta un movimiento turbulento.

Entonces, a instancias de la dinámica de los fluidos, una turbulencia o flujo turbulento resulta ser un régimen de flujo que se caracteriza por baja difusión, alta convección y cambios espacio temporales rápidos de presión y de velocidad.

Por el contrario, a aquellos flujos no turbulentos se los denomina flujos laminares, los mismos se caracterizan por su perfecto orden, suavidad, moviéndose como si fuesen láminas paralelas que no se mezclan con las corrientes entre dos paralelos. Por ejemplo, el flujo de agua sobre un cuerpo simple que presenta una configuración geométrica suave como el de la esfera, cuando se encuentre a una baja velocidad, su tipo de flujo será laminar, mientras que a medida que la velocidad va en aumento se convertirá en un fluido turbulento.

---

<sup>4</sup> Braun Eliezer. *La turbulencia de los fluidos*.

En:[http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/150/htm/sec\\_18.htm](http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/150/htm/sec_18.htm).

Dependiendo de las causas que las provocan nos encontramos con las siguientes turbulencias: turbulencia mecánica (algunos obstáculos como edificación, terreno irregular y árboles intervienen en el flujo normal del viento), turbulencia convectiva (fenómeno bastante común durante las horas del día con buen tiempo; puede darse por el paso de aire frío sobre las masas de aire caliente o cuando por el efecto de la radiación solar se calientan las masas de aire) y turbulencia frontal (frente frío que se desplaza muy rápido)<sup>5</sup>.

## Anexo C

### Vórtice

Un vórtice es un flujo turbulento en rotación espiral con trayectorias de corriente cerradas. Como vórtice puede considerarse cualquier tipo de flujo circular o rotatorio que posee vorticidad. La vorticidad es un concepto matemático usado en dinámica de fluidos que se puede relacionar con la cantidad de circulación o rotación de un fluido. La vorticidad se define como la circulación por unidad de área en un punto del flujo.

El movimiento de un fluido se puede denominar solenoidal si el fluido gira en círculo o en hélice, o de forma general si tiende a rotar en torno a un eje<sup>6</sup>.



*Imagen 196 Vórtice generado por el paso de un ala de avión, revelado con humo coloreado.*

Su estudio en aeronáutica tiene una especial importancia, ya que se crean como consecuencia de las fuerzas aerodinámicas que se producen en las aeronaves, generando peligrosas turbulencias en los entornos aeroportuarios que pueden poner en peligro la estabilidad de otras aeronaves<sup>7</sup>.

<sup>5</sup> DefinicionABC. *Definición de turbulencia*. En: <http://www.definicionabc.com/general/turbulencia.php>.

<sup>6</sup> Wikipedia. *Vórtice*. En: <https://es.wikipedia.org/wiki/V%C3%B3rtice>.

<sup>7</sup> Aliaga Maraver, José Juan. *¿Qué es un vórtice?*. En: <http://piziadas.com/2011/10/%C2%BFque-es-un-vortice.html>.

## Anexo D

### Cálculos de ventilador

Un ventilador es esencialmente una bomba de gas en vez de líquido. Por lo tanto:

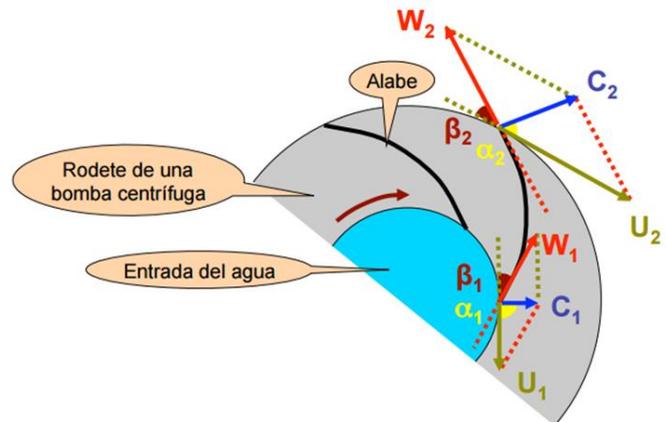
*“Un ventilador es una turbomaquina hidráulica generadora para gases<sup>8</sup>”.*

Los líquidos son poco compresibles y los gases muy compresibles. La compresibilidad puede o no afectar al diseño de la máquina y repercutir o no en la aplicabilidad de las formulas desarrolladas para las bombas, según la variación de densidad.

Si el gas se considera prácticamente incompresible a su paso por la máquina, la teoría y funcionamiento de la *bomba de gas* será idéntica a la de la *bomba de líquido*. Esto sucede cuando el incremento de presiones es pequeño.

Si el gas puede considerarse incompresible, la maquina se llama ventilador y si el gas ha de considerarse compresible, la maquina se llama turbocompresor. Convencionalmente se puede establecer:

- Máquinas de poca calidad:  $\Delta p \leq 100$  mbar, ventilador
- $\Delta p > 100$  mbar, turbocompresor
- Máquinas de alta calidad:  $\Delta p \leq 30$  mbar, ventilador
- $\Delta p > 30$  mbar, turbocompresor



*Imagen 197 Velocidades en los alabes de una bomba o ventilador<sup>9</sup>.*

Las turbomáquinas tienen un elemento giratorio (rodete), que posee una serie de álabes con unos determinados ángulos de incidencia del fluido, siendo los de entrada (1), y los de salida (2).

<sup>8</sup> Matix, Claudio. (1986). *Mecánica de fluidos y maquinas hidráulicas*. Madrid: Ediciones del castillo.

La velocidad del fluido (C) es la suma vectorial de:

- Velocidad de rotación (U), debida al giro del rodete (tangente al giro del mismo)
- Velocidad de traslación a lo largo del rodete (W) (sigue la dirección del álabe, tangente a él)

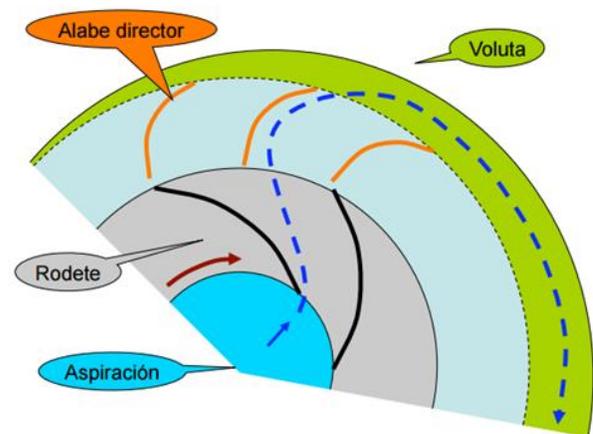
Estas velocidades y los ángulos entre ellas forman los triángulos de velocidades. Para una bomba centrífuga tanto como para ventiladores se tiene.

**Aspiración:** El líquido es aspirado por el ojo del rodete.

**Rodete:** Comunica energía cinética al fluido, el flujo pasa de axial a radial.

**Alabes directores:** Recoger el fluido y lo envía hacia la voluta sin choques ni turbulencias (opcionales).

**Voluta:** En ella se transforma la energía cinética del fluido en energía de presión.

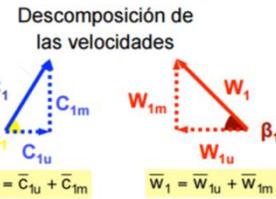
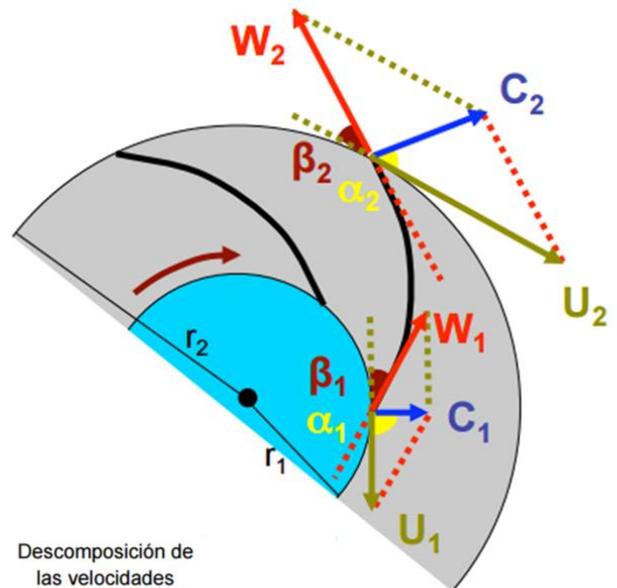
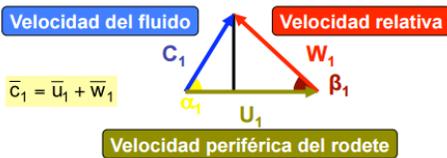


*Imagen 198 Partes del impulsor<sup>9</sup>.*

**Triangulo de velocidades**

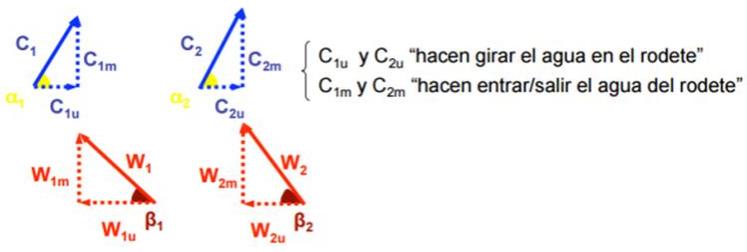
	Fluido (C)	Rotor (U)	Relativa $[\bar{C} - \bar{U}]$
Entrada	$C_1$	$U_1$	$\bar{W}_1 = [\bar{C}_1 - \bar{U}_1]$
Salida	$C_2$	$U_2$	$\bar{W}_2 = [\bar{C}_2 - \bar{U}_2]$

**Triángulo de Velocidades**



$C_{1u} = C_1 \cos \alpha_1$ ;  $C_{1m} = C_1 \sin \alpha_1$ ;  $C_1 = \sqrt{C_{1u}^2 + C_{1m}^2}$   
 $W_{1u} = W_1 \cos \beta_1$ ;  $W_{1m} = W_1 \sin \beta_1$ ;  $W_1 = \sqrt{W_{1u}^2 + W_{1m}^2}$

$U_1 = \frac{2 \pi r_1 n}{60} \text{ (m/s)}$        $U_2 = \frac{2 \pi r_2 n}{60} \text{ (m/s)}$



En las bombas centrífugas es típico que la entrada del líquido en el rodete sea radial:  $\alpha_1=90^\circ$

**Ecuación de Euler**

La ecuación de Euler describe el funcionamiento una turbomáquina ideal en la que no hay ningún tipo de pérdida y todas las partículas del líquido siguen las mismas líneas de corriente (Teoría unidimensional, infinitos alabes). De acuerdo a esta ecuación, la altura es independiente del líquido bombeado.

1ª Ec. EULER	2ª Ec. EULER
$H_{G,H} = \frac{u_2 c_{2u} - u_1 c_{1u}}{g}$	$H_{G,H} = \frac{u_2^2 - u_1^2}{2g} + \frac{c_2^2 - c_1^2}{2g} - \frac{w_2^2 - w_1^2}{2g}$
$H_{M,H} = \frac{u_1 c_{1u} - u_2 c_{2u}}{g}$	$H_{M,H} = \frac{u_1^2 - u_2^2}{2g} + \frac{c_1^2 - c_2^2}{2g} - \frac{w_1^2 - w_2^2}{2g}$

H.G.= Generadoras hidráulicas  
M.G = Motoras hidráulicas

**Geometría de alabes**

Como se puede observar, la geometría de los álabes tiene gran influencia en el comportamiento de la máquina<sup>9</sup>.

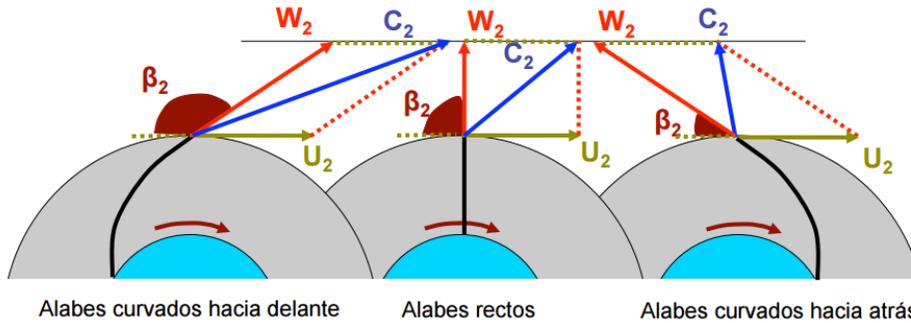


Imagen 199 Tipos de alabes<sup>9</sup>.

La realización de los cálculos de alabes empleados en el prototipo 1 modificado (CFD, 1, MOD, C), se hizo con la ayuda del software EES, ya que se fue iterando hasta obtener el caudal que se necesitaba (se escoge un caudal del doble de lo requerido por cuestiones de eficiencias).

```

"Programa para determinar las dimensiones y triángulos de velocidades de un ventilador
radial de alabes hacia adelante"

"Constantes"
n= 2100 [rpm]
alpha_1= 90[°]
D_2= 0.045 [m]
b_1= 0.027 [m]
b_2= 0.027 [m]

"Ecuaciones"
pi*b_1*D_1*C_1m*0.85= pi*b_2*D_2*C_2m*0.85 "(1)"
Q=(pi)*(b_1)*(D_1)*(C_1m)*0.85
U_1= (pi*D_1*n)/60 [m/s] "(2)"
W_1=(U_1^2+C_1^2)^0.5 [m/s] "(3)"
C_1=U_1*tan(beta_1) "(4)"
C_1m= C_1 "si alpha_1=90°"(5)"
C_1u=0 [m/s] "si alpha_1=90°"(6)"

U_2= (pi*D_2*n)/60 [m/s] "(7)"
W_2=(X^2+C_2m^2)^0.5 [m/s] "(8)"
C_2= (C_2m^2+C_2u^2)^0.5 [m/s] "(9)"
C_2u= X+U_2 "(10)"

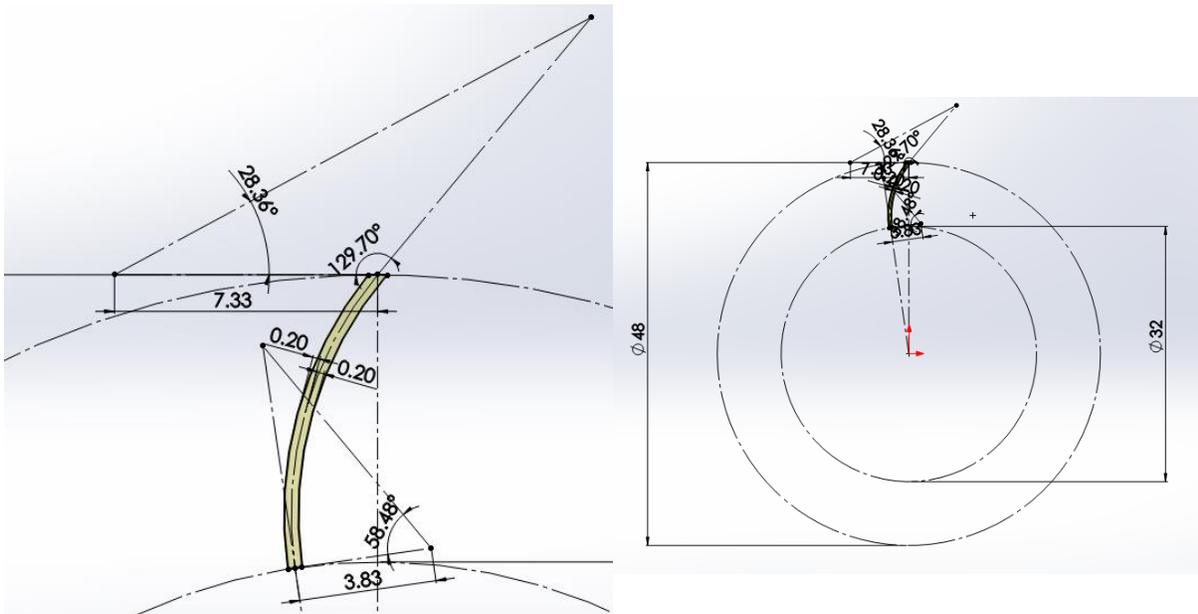
beta_2'=180-beta_2 "(11)"
X=C_2m/tan(beta_2') "(12)"
alpha_2=arctan(C_2m/C_2u) "(13)"
    
```

<sup>9</sup> Pérez Remezal S. F., Renedo Estébanez C., *Maquinas hidráulicas*. En: [http://ocw.unican.es/enseñanzas-tecnicas/mecanica-de-fluidos-y-maquinas-hidraulicas/materiales/T09\\_1.pdf](http://ocw.unican.es/enseñanzas-tecnicas/mecanica-de-fluidos-y-maquinas-hidraulicas/materiales/T09_1.pdf).

Variando los valores de:  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  y  $D_1$  se obtienen los siguientes resultados:

*Tabla 19 Iteraciones para el cálculo de dimensiones de alabes.*

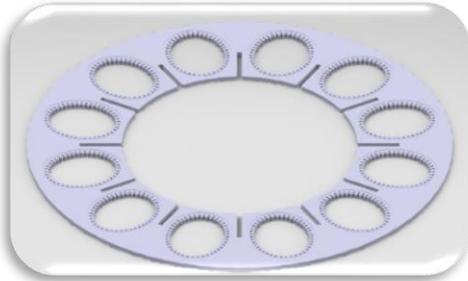
Run	$\sigma_2$	$\beta_1$ [°]	$\beta_2$ [°]	$C_1$	$C_{1m}$	$C_2$	$C_{2m}$	$C_{2u}$	$D_1$ [m]	Q	$U_1$	$W_1$	$W_2$
Run 80	23.9	49.9	128	4.438	4.438	8.275	3.352	7.565	0.03399	0.01088	3.737	5.802	4.253
Run 81	24.16	50.4	128.1	4.525	4.525	8.363	3.423	7.63	0.03404	0.01111	3.743	5.872	4.349
Run 82	24.42	50.91	128.2	4.614	4.614	8.453	3.495	7.697	0.03409	0.01134	3.748	5.945	4.447
Run 83	24.69	51.41	128.3	4.705	4.705	8.547	3.57	7.765	0.03414	0.01158	3.754	6.019	4.548
Run 84	24.95	51.92	128.4	4.798	4.798	8.642	3.646	7.836	0.03419	0.01183	3.76	6.096	4.651
Run 85	25.21	52.42	128.5	4.893	4.893	8.741	3.724	7.908	0.03424	0.01208	3.765	6.174	4.757
Run 86	25.48	52.93	128.6	4.991	4.991	8.843	3.804	7.983	0.03429	0.01234	3.771	6.255	4.866
Run 87	25.74	53.43	128.7	5.091	5.091	8.947	3.885	8.059	0.03434	0.01261	3.776	6.339	4.978
Run 88	26	53.94	128.8	5.194	5.194	9.055	3.97	8.138	0.03439	0.01288	3.782	6.425	5.093
Run 89	26.26	54.44	128.9	5.299	5.299	9.166	4.056	8.219	0.03444	0.01316	3.787	6.513	5.211
Run 90	26.53	54.95	129	5.407	5.407	9.28	4.145	8.303	0.03449	0.01345	3.793	6.604	5.332
Run 91	26.79	55.45	129.1	5.517	5.517	9.398	4.236	8.389	0.03455	0.01374	3.798	6.699	5.457
Run 92	27.05	55.96	129.2	5.631	5.631	9.519	4.329	8.478	0.0346	0.01405	3.804	6.796	5.586
Run 93	27.31	56.46	129.3	5.748	5.748	9.645	4.425	8.569	0.03465	0.01436	3.81	6.896	5.718
Run 94	27.58	56.97	129.4	5.868	5.868	9.774	4.524	8.664	0.0347	0.01468	3.815	6.999	5.855
Run 95	27.84	57.47	129.5	5.991	5.991	9.908	4.626	8.761	0.03475	0.01501	3.821	7.106	5.995
Run 96	28.1	57.98	129.6	6.118	6.118	10.05	4.731	8.862	0.0348	0.01535	3.826	7.216	6.14
Run 97	28.36	58.48	129.7	6.249	6.249	10.19	4.839	8.965	0.03485	0.0157	3.832	7.33	6.29
Run 98	28.62	58.99	129.8	6.384	6.384	10.34	4.951	9.073	0.0349	0.01606	3.837	7.448	6.444
Run 99	28.88	59.49	129.9	6.523	6.523	10.49	5.066	9.184	0.03495	0.01644	3.843	7.571	6.603
Run 100	29.14	60	130	6.666	6.666	10.65	5.184	9.298	0.035	0.01682	3.848	7.697	6.768



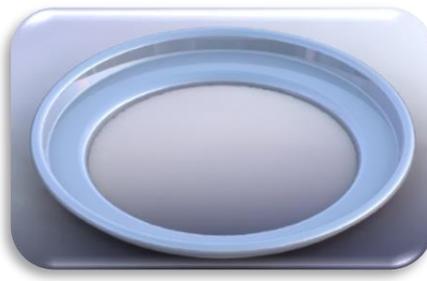
*Imagen 200 Geometría para los alabes realizados en SolidWorks.*

**Anexo E**

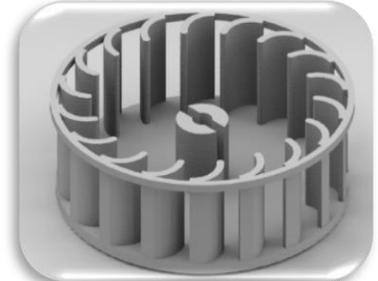
***Renderizados: Prototipo 1***



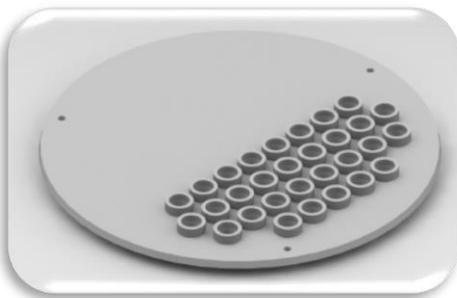
Abanico



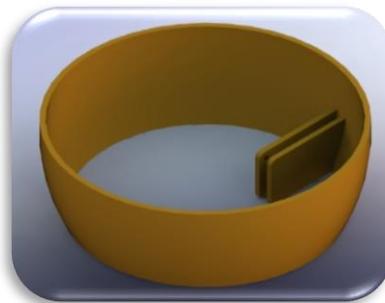
Aro de fijación



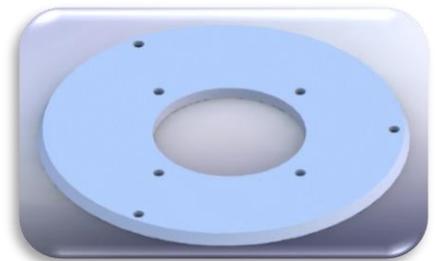
Aspa de motor ventilador



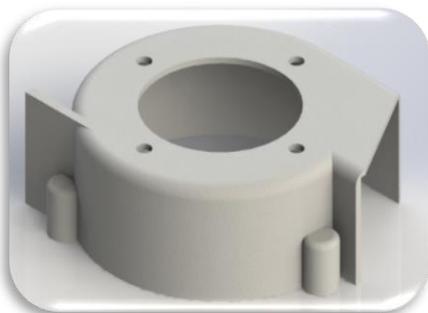
Base del cono



Base del motor de tracción



Base de motor ventilador



Carcasa del motor ventilador



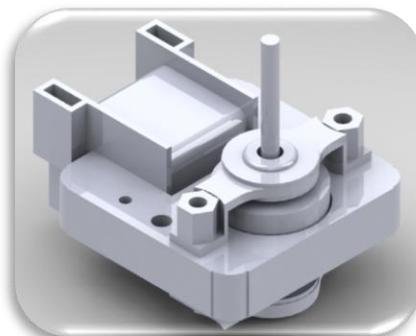
Cúpula de cono



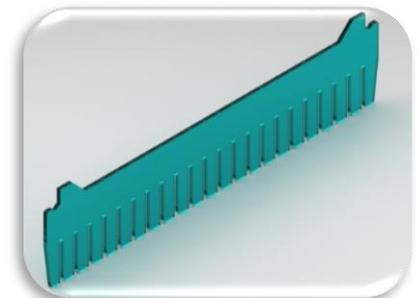
Cuerpo de cono



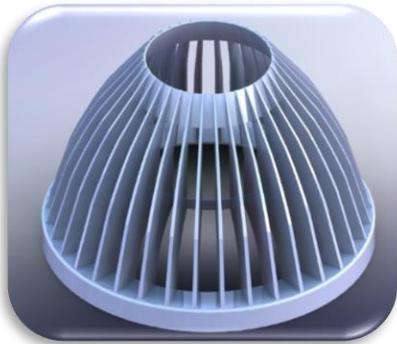
Motor de tracción



Motor ventilador



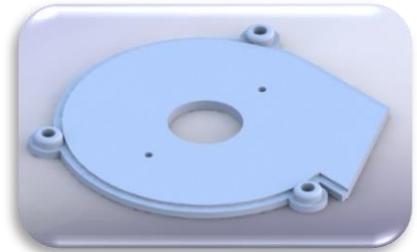
Peine



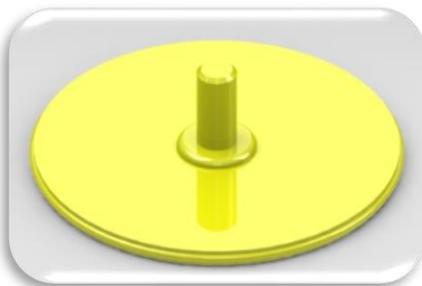
Rejilla



Soporte de turbina



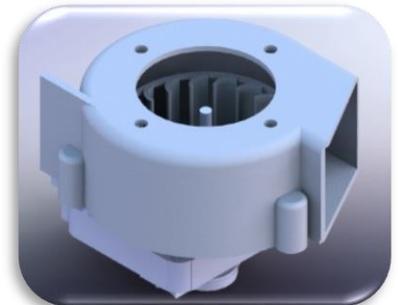
Tapa del motor ventilador



Tapa de turbina



Tina

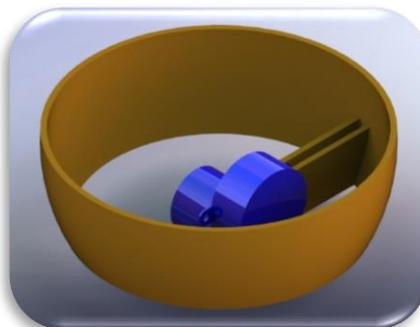


Ensamble de motor ventilador

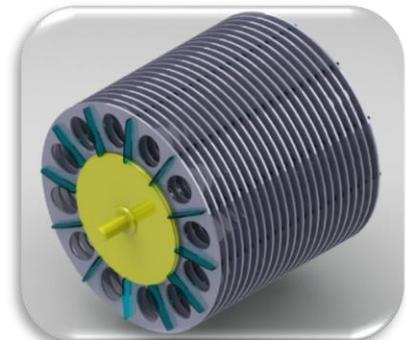


Ensamble de cúpula

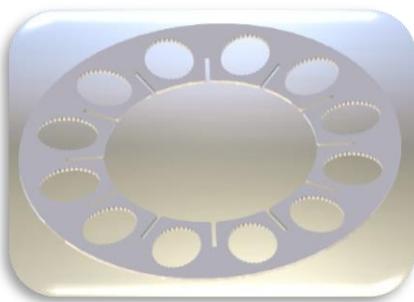
**Prototipo 2**



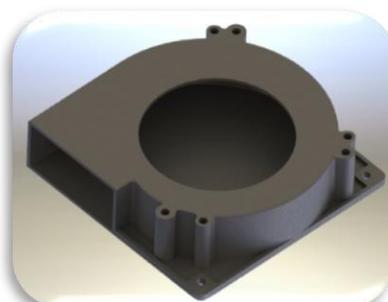
Ensamble motor de tracción



Ensamble de tambor



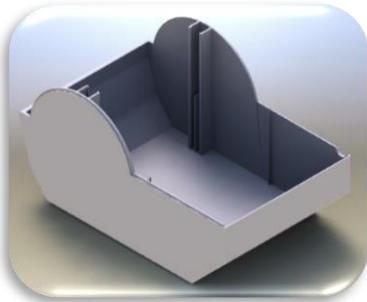
Abanico



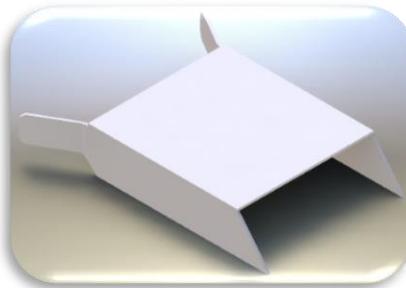
Carcasa del ventilador



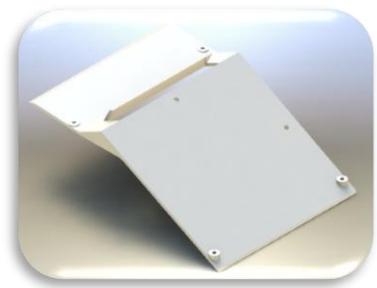
Chumacera



Contenedor inferior



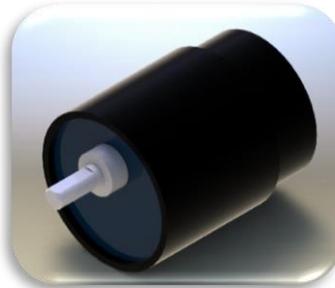
Cubierta superior



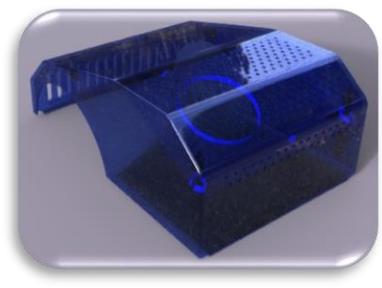
Deflector interior



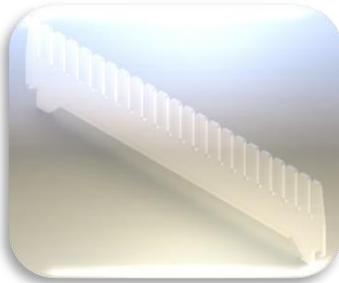
Impulsor ventilador



Motor



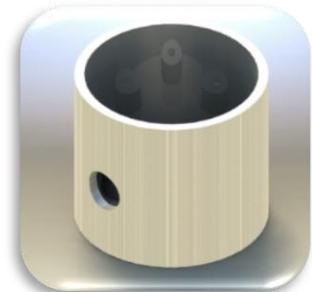
Contenedor superior



Peine



Rueda dentada



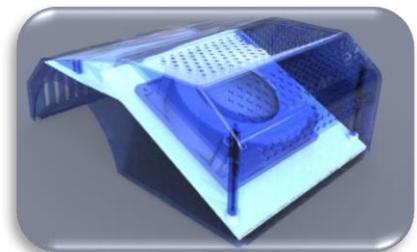
Soporte de motor



Tapa de abanico



Ensamble de tambor



Ensamble cubierta superior

