

# Tabla de Contenido

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Motivación . . . . .	2
1.2. Objetivos . . . . .	3
1.2.1. Objetivos Generales . . . . .	3
1.2.2. Objetivos específicos . . . . .	3
1.3. Alcances . . . . .	3
<b>2. Antecedentes</b>	<b>5</b>
2.1. Soldadura . . . . .	5
2.1.1. Soldadura al arco . . . . .	5
2.1.2. Partes constituyentes y elementos de la soldadura de arco de plasma . . . . .	6
2.2. Plasma . . . . .	8
2.2.1. Fenómenos que afectan al plasma en soldadura . . . . .	8
2.2.1.1. Efecto Joule . . . . .	9
2.2.1.2. Efecto Thomson . . . . .	9
2.3. Formas de transferencia de calor en soldadura . . . . .	10
2.3.1. Radiación . . . . .	10
2.3.2. Conducción . . . . .	11
2.3.3. Advección . . . . .	11
2.3.4. Calor latente de evaporación y fusión . . . . .	12
2.4. Número de Prandtl . . . . .	12
2.5. Modelo de Landau-Squire . . . . .	13
2.5.1. Hipótesis del modelo . . . . .	13
2.5.2. Ecuaciones constituyentes . . . . .	14

2.5.3.	Fuerza ejercida por un jet electromagnético . . . . .	18
2.5.4.	Presión en el centro del cátodo ejercida por un jet electromagnético . . . . .	19
<b>3.</b>	<b>Metodología</b>	<b>20</b>
<b>4.</b>	<b>Desarrollo</b>	<b>22</b>
4.1.	Soluciones del modelo . . . . .	22
4.1.1.	Velocidad . . . . .	23
4.1.2.	Temperatura . . . . .	24
4.1.3.	Número de Squire . . . . .	24
4.1.4.	Ecuación de la temperatura adimensional y radio de la isoterma	25
4.1.4.1.	Longitud característica ( $z_c$ ) . . . . .	26
4.1.4.2.	Ecuación de temperatura en función de la longitud característica ( $z_c$ ) y ecuación adimensional de temperatura. . . . .	26
4.1.4.3.	Radio adimensional de temperatura ( $r_{tmax}^*$ ) . . . . .	27
4.1.4.4.	Radio dimensional de la temperatura en función del radio ( $r_t$ ) . . . . .	29
4.1.5.	Ecuación de la velocidad axial adimensional y radio de la isovelocidad . . . . .	29
4.1.5.1.	Velocidad axial . . . . .	30
4.1.5.2.	Velocidad en función de la longitud característica ( $u_{z_c}$ )	30
4.1.5.3.	Adimensionalización de la ecuación de la velocidad axial . . . . .	31
4.1.5.4.	Radio adimensional de la velocidad máxima ( $R_{u_{max}}^*$ )	32
4.1.5.5.	Radio dimensional de la velocidad en función del radio ( $r_u$ ) . . . . .	32
4.2.	Modelo de Matlab . . . . .	33
4.2.1.	Validación de modelo de Matlab . . . . .	34
4.2.2.	Supuestos y justificaciones . . . . .	35
4.2.2.1.	Incompresibilidad del argón . . . . .	36
4.3.	Cálculo de propiedades utilizadas en el modelo . . . . .	37
4.3.1.	Cálculo del valor de la conductividad térmica efectiva ( $k_{eff}$ ) .	37

4.3.2.	Cálculo de la capacidad calorífica por la densidad efectiva $(\rho c_p)_{eff}$ . . . . .	38
4.3.2.1.	Supuestos utilizados . . . . .	38
4.3.2.2.	Valores obtenidos . . . . .	38
4.3.3.	Cálculo de la difusividad térmica efectiva ( $\alpha_{eff}$ ) . . . . .	39
4.3.4.	Selección de un valor para la viscosidad cinemática ( $\nu$ ) y número de Prandtl . . . . .	39
4.3.5.	Cálculo del desfase de la fuente de calor . . . . .	41
4.3.6.	Voltaje de la fuente de calor . . . . .	41
<b>5.</b>	<b>Resultados</b>	<b>44</b>
5.1.	Gráficos de propiedades termodinámicas del Argón . . . . .	44
5.2.	Resultados del modelo desarrollado en esta tesis a diferentes temperaturas. . . . .	48
5.3.	Comparación entre modelos . . . . .	50
5.3.1.	Radios obtenidos a 10000 °K con el modelo desarrollado en esta tesis. . . . .	51
5.3.2.	Radios obtenidos con el modelo de los doctores Alfredo Delgado, Marcos Ramírez y Patricio Mendez [6] . . . . .	52
5.3.3.	Errores entre los modelos . . . . .	53
5.3.4.	Gráficos de curvas comparando los diferentes modelos . . . . .	54
5.3.4.1.	Comparación gráfica entre el modelo de Landau-Squire y el modelo desarrollado en esta tesis. . . . .	54
5.3.4.1.1.	Isotermas . . . . .	55
5.3.4.1.2.	Isovelocidades . . . . .	57
5.3.4.2.	Comparación gráfica entre el modelo desarrollado en esta tesis y el modelo de los doctores Alfredo Delgado, Marcos Ramírez y Patricio Mendez. . . . .	59
5.3.4.2.1.	Isotermas . . . . .	59
5.3.4.2.2.	Isovelocidades . . . . .	61
5.3.4.3.	Comparación gráfica entre el modelo desarrollado en esta tesis, el modelo de Landau-Squire y el modelo de los doctores Alfredo Delgado, Marcos Ramírez y Patricio Mendez. . . . .	63

5.3.4.3.1. Isotermas . . . . .	64
5.3.4.3.2. Isovelocidades . . . . .	66
<b>6. Discusión</b>	<b>68</b>
6.1. Propiedades de los gráficos del argón . . . . .	68
6.1.1. Ionización del gas . . . . .	68
6.1.2. Conductividad eléctrica del argón . . . . .	69
6.1.3. Viscosidad cinemática . . . . .	69
6.1.4. Número de Prandtl . . . . .	69
6.1.5. Conductividad térmica . . . . .	70
6.2. Respecto a la fuente de calor considerada en el modelo de Landau-Squire	70
6.3. Consideraciones y supuestos de los modelos utilizados . . . . .	71
6.3.1. Modelo de Landau-Squire . . . . .	72
6.3.2. Modelo desarrollado en esta tesis . . . . .	72
6.3.3. Modelo desarrollado por los doctores Alfredo Delgado, Marcos Ramírez y Patricio Mendez . . . . .	73
6.4. Diferencias entre medidas experimentales del plasma y valores obte- nidos con el modelo. . . . .	75
6.4.1. Orden de magnitud de la velocidad y viscosidad cinemática . .	75
6.4.2. Densidad de corriente . . . . .	75
6.5. Propiedades termodinámicas . . . . .	76
6.6. Errores . . . . .	76
6.6.1. Gráficos comparativos . . . . .	77
6.6.1.1. Gráficos comparativos de Landau-Squire con el mo- delo desarrollado en esta tesis. . . . .	77
6.6.1.2. Gráficos comparativos de modelo de los doctores con el modelo desarrollado en esta tesis. . . . .	78
6.6.1.3. Gráficos comparativos de todos los modelos usados en esta tesis. . . . .	78
6.6.2. Forma del plasma de argón . . . . .	79
<b>7. Conclusiones</b>	<b>80</b>
7.1. Trabajo Futuro . . . . .	81
<b>Bibliografía</b>	<b>82</b>