



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

**COMPARACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE
ARCOS ARDIENDO EN DIFERENTES GASES EN
SOLDADURA GTAW**

TESIS
PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO QUÍMICO METALÚRGICO

PRESENTA:
ALBERTO VELÁZQUEZ SÁNCHEZ



CD. MX.

2018



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE: **Profesor: ADRIAN MANUEL AMARO VILLEDA**
VOCAL: **Profesor: AGUSTIN GERARDO RUIZ TAMAYO**
SECRETARIO: **Profesor: MARCO AURELIO RAMIREZ ARGAEZ**
1er. SUPLENTE: **Profesor: GERARDO SANJUAN SANJUAN**
2° SUPLENTE: **Profesor: DIEGO ALBERTO ABREU LOPEZ**

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

LABORATORIO 203. EDIFICIO D. FACULTAD DE QUÍMICA. UNAM. CDMX. MÉXICO

ASESOR DEL TEMA:

DR. MARCO AURELIO RAMÍREZ ARGAEZ

SUSTENTANTE:

ALBERTO VELÁZQUEZ SÁNCHEZ

Agradecimientos

- Gracias al programa UNAM-PAPIIT clave IN115617 “Determinación de las características magnetohidrodinámicas de plasmas de soldadura mediante simulación numérica y teorías de escalamiento”.

Índice

1. Introducción	1
1.1. Soldadura	1
1.2. Soldadura por Arco Eléctrico	2
1.3. Soldadura por Arco Eléctrico GTAW	4
1.4. Plasma	8
1.5. Revisión Bibliográfica	11
1.6. Hipótesis	13
1.7. Objetivo	13
2. Metodología de trabajo	14
2.1. Suposiciones	14
2.2. Ecuaciones Gobernantes	16
2.3. Condiciones de Frontera	20
2.4. Técnica de Solución	21
2.5. Software Utilizado	22
2.6. Diseño de las simulaciones en Computadora	23
2.7. Propiedades de los Gases	25
3. Resultados y Discusión	32
4. Conclusiones	56
5. Bibliografía	58
6. Apéndices	60
6.1 Archivo Q1	60
6.2 Archivo Ground Ar	62
6.2 Archivo Ground CO2	84
6.2 Archivo Ground He	106

Lista de figuras

1. Esquema de soldadura por arco eléctrico	4
2. Esquema de soldadura GTAW	4
3. Esquema de un Arco Eléctrico	10
4. Dominio de cómputo en 2D y coordenadas cilíndricas	15
5. Malla utilizada para la región de la soldadura GTAW	24
6. Densidad Ar, He y CO ₂	26
7. Entalpía Ar, He y CO ₂	26
8. Calor Específico Ar, He y CO ₂	27
9. Viscosidad Ar, He y CO ₂	28
10. Conductividad Térmica Ar, He y CO ₂	29
11. Conductividad Eléctrica Ar, He y CO ₂	29
12. Coeficiente de emisión de radiación Ar, He y CO ₂	31
13. Vectores de velocidad en la soldadura GTAW, caso Ar	32
14. Vectores de velocidad en la soldadura GTAW, caso CO ₂	33
15. Vectores de velocidad en la soldadura GTAW, caso He	33
16. Mapa de densidad de campo magnético en la soldadura GTAW, caso Ar	34
17. Mapa de densidad de campo magnético en la soldadura GTAW, caso CO ₂	35
18. Mapa de densidad de campo magnético en la soldadura GTAW, caso He	35
19. Vectores de densidades de corriente en la soldadura GTAW, caso Ar. Mostrando Isotherma de 10,000 K	36
20. Vectores de densidades de corriente en la soldadura GTAW, caso CO ₂ . Mostrando Isotherma de 9,500 K	37
21. Vectores de densidades de corriente en la soldadura GTAW, caso He. Mostrando Isotherma de 15,000 K	37
22. Vectores de las Fuerzas de Lorentz aplicados en la soldadura GTAW, caso Ar	39
23. Vectores de las Fuerzas de Lorentz aplicados en la soldadura GTAW, caso CO ₂	39
24. Vectores de las Fuerzas de Lorentz aplicados en la soldadura GTAW, caso He	40
25. Mapa de presiones en la soldadura GTAW, caso Ar	41
26. Mapa de presiones en la soldadura GTAW, caso CO ₂	41
27. Mapa de presiones en la soldadura GTAW, caso He	41
28. Perfil de esfuerzo máximos cortantes en la superficie del ánodo. Ar (azul), CO ₂ (naranja), He (gris)	43
29. Perfil de velocidades en el eje de simetría. Ar (azul),	

CO ₂ (naranja), He (gris)	44
30. Mapa de temperaturas en la soldadura GTAW, caso Ar	45
31. Mapa de temperaturas en la soldadura GTAW, caso CO ₂	45
32. Mapa de temperaturas en la soldadura GTAW, caso He	46
33. Mapa de diferencia de potencial eléctrico en la soldadura GTAW, caso Ar	47
34. Mapa de diferencia de potencial eléctrico en la soldadura GTAW, caso CO ₂	47
35. Mapa de diferencia de potencial eléctrico en la soldadura GTAW, caso He	47
36. Perfil de densidades de corriente en la superficie del ánodo. Ar (azul), CO ₂ (naranja), He (gris)	48
37. Perfil temperaturas en la superficie del ánodo. Ar (azul), CO ₂ (naranja), He (gris)	49
38. Perfil de fluxes de calor en la superficie del ánodo para la soldadura GTAW, caso Ar. Convección (azul marino), work function (naranja), Efecto Thompson (gris), Radiación (amarillo) y el calor total del sistema (azul cielo)	51
39. Perfil de fluxes de calor en la superficie del ánodo para la soldadura GTAW, caso CO ₂ . Convección (azul marino), work function (naranja), Efecto Thompson (gris), Radiación (amarillo) y el calor total del sistema (azul cielo)	51
40. Perfil de fluxes de calor en la superficie del ánodo para la soldadura GTAW, caso He. Convección (azul marino), work function (naranja), Efecto Thompson (gris), Radiación (amarillo) y el calor total del sistema (azul cielo)	52
41. Perfil acumulativo de Calor Total Aportado por el plasma a la Superficie del ánodo. Ar (azul), CO ₂ (naranja), He (gris)	53

Lista de Tablas

1. Comparación entre Corriente Alterna y Corriente Directa	6
2. Condiciones a la frontera	21
3. Comparación de gases de cobertura	54

1. Introducción

1.1 Soldadura

La soldadura es un proceso de unión de dos o más materiales, que pueden ser metales o termoplásticos con una completa continuidad. La unión se da de forma interatómica en los bordes de estos y se realiza por el medio del uso de presiones y/o calor. En la mayoría de los procesos de soldadura se utiliza el calor como medio para aumentar la cercanía de los átomos y lograr la unión interatómica, esto logrado por medio de la fusión del material base y/o de un material de aporte realizando el empalme de las piezas al solidificarse.

Los procesos de soldadura son multifacéticos y sus variaciones en términos del proceso son inmensas. Cada proceso de soldadura no es igualmente adecuado para cada metal, tipo de unión o aplicación. Es necesario reconocer de los requisitos esenciales que debe de cumplir cada soldadura para elegir el mejor proceso de soldadura.

Cualquier proceso de soldadura debe de cumplir estos 4 requisitos.

1. Un suministro de energía para crear una unión ya sea por fusión o presión.
2. Un mecanismo para remover contaminaciones superficiales de la junta.
3. Evitar contaminación atmosférica o sus efectos.
4. Control de la metalurgia de la soldadura

La clasificación de los procesos de soldadura es la siguiente:

- Soldadura por Presión o Forja. En este método de soldadura las superficies a unir son calentadas hasta que alcanzan la temperatura de soldadura del metal, la cual es por debajo del punto de fusión. Las partes se colocan en un yunque y son forjadas juntas. En este proceso hay un riesgo de oxidación y presencia de otras inclusiones al calentar el metal.

- Soldadura por Resistencia Eléctrica. Este método requiere del paso de una alta intensidad de corriente a través de dos piezas de metal mientras que se presionan juntas. El calor generado por el paso de corriente en la intercara de ambas piezas de metal lleva a su punto de fusión en la zona de contacto solamente.
- Soldadura por Fusión. En soldadura por fusión el material alrededor de la junta es derretido en ambas partes a unir. Si es necesario se llena con un material de aporte. La unión es producida por la subsecuente solidificación del material derretido. En este proceso se tienen 3 zonas importantes, la zona de fusión, la zona afectada por el calor (ZAC), y la zona original que no es afectada por el calor.
- Soldadura por Arco Eléctrico. Este proceso consiste en la fusión del metal por el calor aportado por un arco eléctrico. El intenso calor del arco forma un charco de metal líquido del metal a soldar (Weld pool), y al mismo tiempo funde la punta del electrodo la cual se une al metal líquido.

La soldadura por arco eléctrico es particularmente importante cuando la unión de metales debe tener propiedades mecánicas altas y va a ser sometida a condiciones de operación demandantes, de tal manera que no se comprometa la integridad de la unión soldada y por eso es motivo de extensos estudios científicos alrededor del mundo y es el motivo de estudio de este proyecto, centrándose el presente trabajo en la región del arco eléctrico. A continuación, se describe el proceso de soldadura con arco a detalle.

1.2 Soldadura por Arco Eléctrico

El término de soldadura por arco eléctrico aplica a un gran y diverso grupo de procesos de soldadura que utilizan un arco eléctrico como fuente de calor. La formación del arco eléctrico depende del paso de corriente eléctrica entre

dos electrodos, uno en el metal base a unir (ánodo) y otro en el electrodo consumible en forma de alambre (cátodo) que también sirve como material de aporte a la soldadura, formando un plasma por medio de la ionización de un gas. De esta forma alcanza temperaturas mayores a los 5000°C.

Como el metal a altas temperaturas tiende a oxidarse, el uso de una atmósfera protectora es necesaria como medio de cobertura del arco y el metal fundido.

Existe una gran variedad de procedimientos de soldadura, donde la base de la fuente de calor es el arco eléctrico. Todos estos procedimientos se pueden agrupar en dos grupos, por arco descubierto y por arco encubierto.

La soldadura con arco utiliza electrodos revestidos los cuales proporcionan mejores características y aspecto final al cordón de soldadura. El recubrimiento de los electrodos está constituido generalmente por óxidos minerales, carbonatos, silicatos o diversos compuestos orgánicos. Además, proporciona un efecto protector al material fundido, en forma de escoria fundida. Gracias al uso de recubrimientos en el electrodo se evita la formación de arcos secundarios durante la soldadura, facilita la ionización y la velocidad de enfriamiento disminuye.

El arco eléctrico que se establece en los procesos de soldadura supone una descarga eléctrica que se caracteriza por su elevada intensidad de corriente, bajo potencial eléctrico y gran aporte de calor. El calor provocado por el arco es intenso y localizado, lo que resulta ideal para el proceso de soldadura. En el circuito eléctrico formado por los electrodos a través del arco, la intensidad de corriente depende de la tensión y de la resistencia del circuito. La distancia entre electrodos varía la resistencia del circuito, siendo una de las mayores variables del proceso.

En la **Figura 1** se muestra un esquema simplificado de la soldadura por arco eléctrico.

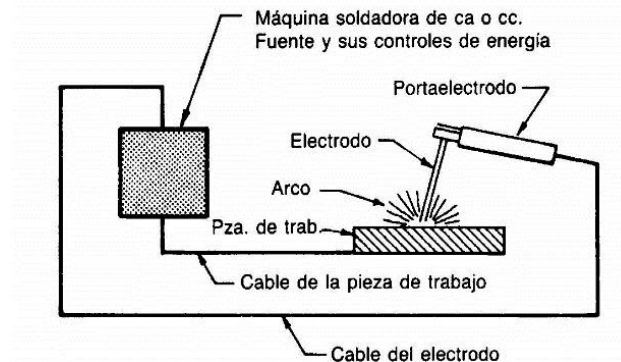


Figura 1. Esquema de soldadura por arco eléctrico

1.3 Soldadura por Arco Eléctrico GTAW

En el proceso de soldadura GTAW (Gas Tungsten Arc Welding) se realiza mediante el uso de un electrodo no consumible de tungsteno (cátodo) y la pieza de trabajo (ánodo). Gases inertes o mezclas de éstos, usualmente Ar y He, son soplados a través de una tobera situada concéntricamente alrededor del electrodo para evitar la contaminación del exterior. Como se representa en la **Figura 2**.

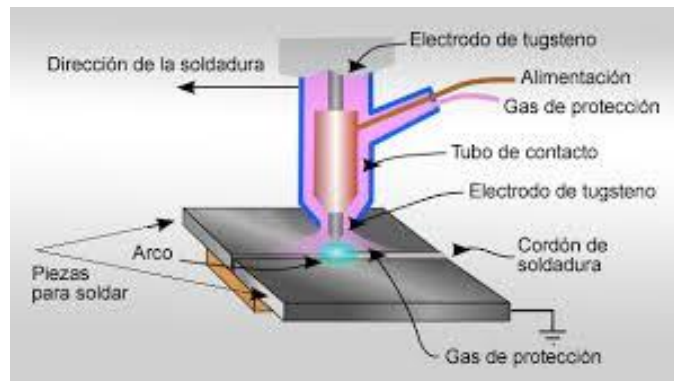


Figura 2. Esquema de Soldadura GTAW

La gran ventaja de este método de soldadura es la obtención de cordones más resistentes, más dúctiles y menos sensibles a la corrosión, debido al gas protector que impide el contacto entre el oxígeno de la atmósfera y el charco de soldadura. Además, dicho gas simplifica notablemente la soldadura de metales ferrosos y no ferrosos, por no requerir el empleo de desoxidantes, con las inclusiones de escoria que esto pueda implicar.

En contraste con los gases ordinarios a presión y temperatura atmosféricas, los plasmas (gases a muy elevadas temperaturas) son conductores eléctricos debido a la presencia de iones y partículas cargadas eléctricamente. Los plasmas a muy altas temperaturas pueden alcanzar las conductividades eléctricas necesarias para promover la transferencia de carga eléctrica y cerrar el circuito eléctrico de un arco.

Para el proceso GTAW la corriente fluye debido a la diferencia de potencial entre el cátodo de tungsteno y la pieza de trabajo. El Argón forma una atmósfera protectora cubriendo el espacio entre el cátodo y el ánodo. El Argón no es un gas conductor de la electricidad bajo condiciones estándar de presión y temperatura. Sin embargo, el electrodo de tungsteno emite electrones a alta temperatura (aprox. 4000k) que colisionan con las partículas estáticas del gas aumentando la energía cinética de estas y su temperatura y promoviendo la formación de iones y la generación de partículas subatómicas a lo que se le llama plasma.

Los parámetros que tienen influencia en este proceso van desde el tipo de polaridad, el material y la forma del electrodo, la composición del gas, la geometría y el sistema de la fuente de poder.

Las polaridades empleadas en GTAW pueden ser:

- DCSP, por sus siglas en ingles Direct-Current Straight Polarity, corriente directa polaridad directa.
- DCRP, por sus siglas en ingles Direct-Current Reverse Polarity, corriente directa con polaridad invertida.

- ACHF, por sus siglas en ingles Alternating-Current High Frequency, corriente alterna de alta frecuencia.

El tipo de polaridad varía según la aplicación de la soldadura.

La comparación entre Corriente Directa y Corriente Alterna se muestra en la **Tabla 1**.

Tabla 1. Comparación entre Corriente Alterna y Corriente Directa

Aspectos	Corriente Alterna	Corriente Directa
Consumo de energía	Bajo	Alto
Estabilidad del Arco	Arco inestable	Arco Estable
Costo	Bajo	Alto
Eficiencia	Alta	Baja
Uso	Metales no ferrosos no pueden ser unidos	Adecuado tanto para metales ferrosos como no ferrosos
Electrodo	Electrodo revestido	Se puede utilizar tanto electrodo con o sin revestimiento
Soldadura de secciones delgadas	No recomendable	Preferentemente
Otros	La pieza de trabajo puede actuar como cátodo mientras que el electrodo como ánodo, o viceversa	Electrodo siempre es negativo y la pieza de trabajo es positivo

Actualmente el DCRP es el tipo de corriente y polaridad más utilizadas en el proceso GTAW debido a la estabilidad del arco y la alta aportación de calor a las piezas a soldar.

En la soldadura GTAW se emplea un electrodo no consumible de Tungsteno habitualmente tungsteno-toriado aunque también se manufacturan electrodos de Tungsteno-Lantano, Tungsteno-Cerio, Tungsteno-Torio que contienen hasta un 3% de Torio (W-3Th, azul), debido al alto punto de fusión del Tungsteno (3422°C).

Los electrodos de Tungsteno-Torio para la soldadura se clasifican con la asignación de un color de acuerdo con el porcentaje de Torio que estos contienen:

- Tungsteno puro EWP (verde)
- 1%Th EWTh1 (amarillo)
- 2%Th EWTh2 (rojo)
- Stripped EWTh3 (azul)
- Zirconio EWZr (café)

En GTAW se utilizan gases inertes, como el Argón (Ar), Helio (He) y Nitrógeno (N). Esto implica que es posible soldar haciendo pasar electricidad por alguno de estos gases.

Particularmente el argón es el más común en la soldadura GTAW para soldaduras no ferrosas y aleaciones inoxidable. La energía del arco de Ar es dispersada menos uniformemente que la del arco de He debido a la baja conductividad del Ar. Lo que tiene como resultado, el arco de Ar tiene un centro de alta energía y un manto de baja energía térmica. Esto ayuda a producir una transferencia de gotas de metal más estable y axial a través de un arco de Ar. Para los metales ferrosos, el He produce salpicaduras y el Ar produce abatimientos en las líneas de fusión. Añadiendo O₂ o CO₂ al Ar reducen las desventajas. Acero de bajo carbono son soldados comúnmente con CO₂, debido a sus altas velocidades de soldar, mayor penetración y bajo

costo. Dado que el CO₂ produce un gran nivel de salpicadura, una diferencia de potencial relativamente baja es utilizada para minimizar la salpicadura. Algunas veces son aplicadas algunas mezclas de estos gases como Argón-Helio, Argón-Hidrógeno y Argón-CO₂ para obtener diversos efectos.

1.4 Plasma

La definición de plasma solo es válida para el estado de plasma gaseoso, el cual consiste en una mezcla de electrones, iones y partículas neutras. Dado que la masa de los iones y partículas neutras es mucho mayor que la masa del electrón, los iones y partículas neutras se clasifican como partículas pesadas o los componentes pesados del plasma. Algunas de estas partículas pesadas pueden estar en un estado excitado debido al alto contenido de energía en el plasma; las partículas en un estado excitado pueden regresar a su estado basal por medio de emisión fotónica. Adicionalmente de estos componentes, el plasma contiene especies excitadas y fotones. Dentro de esta mezcla de partículas, el plasma debe cumplir con un equilibrio de cargas por lo que eléctricamente debe de ser neutral, a esta propiedad se le conoce como “quasi neutral”.

Los plasmas son generados por el paso de corriente eléctrica a través de un gas. Debido a que los gases se encuentran a temperatura ambiente, son excelentes aislantes, por lo que la cantidad de corriente eléctrica debe ser lo suficientemente elevada para hacer que un gas se vuelva un conductor eléctrico, este proceso se le conoce como “descomposición eléctrica” y hay muchas maneras de llevar a cabo esta descomposición.

La original descomposición del gas no conductor establece una ruta conductiva entre el par de electrodos. El paso de la corriente eléctrica a través del gas ionizado conduce un fenómeno conocido como descargas gaseosas. Estas descargas son las más comunes, pero no las únicas para producir plasmas.

Los métodos más empleados para producir plasmas son los arcos de alta intensidad, descargas de pares inductivos de alta frecuencia y recientemente las descargas de microondas se han considerado para producir plasmas.

En la **Figura 3** se presenta un esquema simplificado de la región del arco eléctrico en una soldadura con arco. Se establece una diferencia de potencial entre el cátodo y el ánodo y como el gas de cobertura Ar, He o CO₂ no conduce la electricidad, los electrones se acumulan en el cátodo y este se comienza a calentar a temperaturas muy elevadas (para electrodos de tungsteno son del orden de 4000K) y a esa temperatura los electrones altamente energéticos se empiezan a emitir desde el cátodo hacia el ánodo y esta emisión llamada termiónica causa colisiones con las moléculas de gas que provocan ionización de estas. Solamente a altas presiones como la atmosférica existe un estado tal de colisiones que las temperaturas de los electrones y de los iones se equilibran generando el equilibrio termodinámico local. El gas ya convertido en un conductor moderado de la corriente eléctrica permite el paso de una elevada densidad de corriente del orden de 1×10^7 A/m² lo cual genera un enorme calor Joule provocado por el paso de tal cantidad de flux de carga. El efecto Joule calienta al gas ionizado, desde ahora llamado plasma a temperaturas mayores a 10,000K y hasta 30,000K. Esas temperaturas también promueven un mecanismo de calor por radiación del arco a la soldadura. Los electrones calientes (10,000K a 30,000K) entran al charco de soldadura (baja temperatura comparada con la del arco) y al entrar al metal soldado calienta al charco de soldadura por dos mecanismos, uno de ellos llamado efecto Thompson (energía que traen los electrones) y por la condensación de electrones (calor liberado por los electrones al pasar del plasma a la soldadura metálico que se conoce como función trabajo). Por otra parte, y de manera paralela, el paso de la enorme densidad de corriente induce un campo magnético angular, también muy grande. El producto cruz entre la densidad de corriente y el campo magnético produce fuerzas electromagnéticas (llamadas fuerzas de Lorentz) que actúan como fuerzas de cuerpo sobre el fluido creando movimiento de fluidos que se traduce en

un jet de plasma caliente de alta velocidad que va desde el cátodo hacia el ánodo (para arcos de corriente directa) y que calienta al charco de soldadura por el último mecanismo que se conoce como convección. Entonces, con esta descripción de la física que gobierna la transferencia de calor desde el arco al charco de soldadura, el arco es un proceso que involucra los fenómenos de flujo de fluidos promovidos por fuerzas electromagnéticas, lo que se denomina magnetohidrodinámica, acoplados a la transferencia de energía y fenómenos electromagnéticos. En cuanto a la transferencia de calor desde el arco al charco de soldadura podemos decir que hay cuatro mecanismos participantes que son: convección, radiación, efecto Thompson y condensación de electrones o función trabajo.

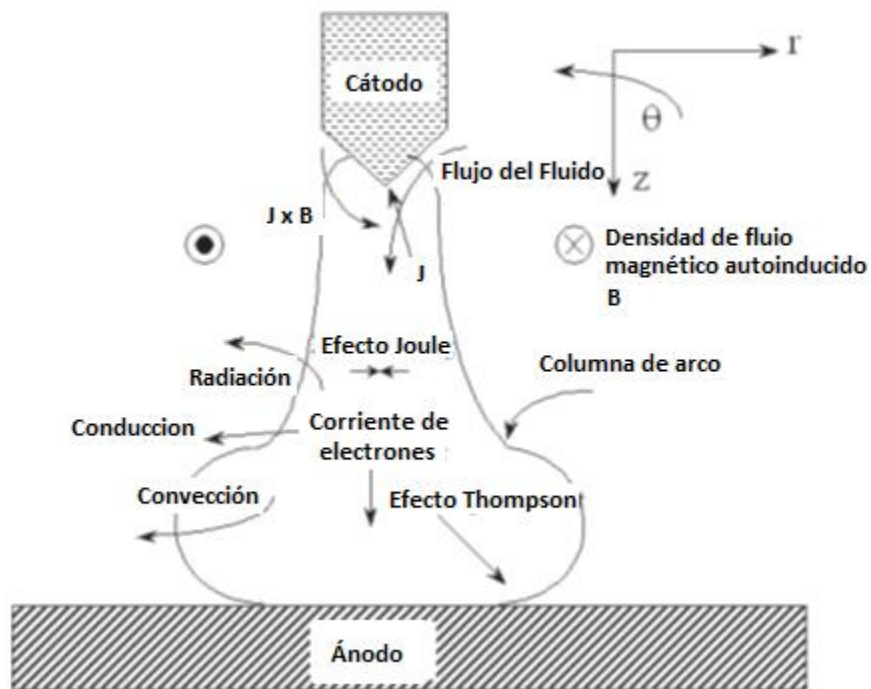


Figura 3. Esquema de un Arco Eléctrico

En este proyecto se estudió el efecto de cambiar el gas de cobertura en la soldadura especialmente sobre la transferencia de calor desde el gas. En este sentido, al cambiar el gas cambian las propiedades como C_p , conductividad térmica y eléctrica que modificarán los efectos Joule, la

radiación, y todos los mecanismos de transferencia de calor por lo que el aporte energético será distinto cambiando el gas de soldadura, pero dejando tanto la longitud del arco como la corriente eléctrica sin cambio.

1.5 Revisión Bibliográfica

Se han realizado varios trabajos de modelación matemática para un arco eléctrico de corriente directa, utilizado en el proceso de soldadura GTAW, en los cuales se han estudiado cada una de las variables presentes en este proceso. Haciendo mención de los trabajos más importantes que se utilizaron como base para la realización de este trabajo.

Desde el trabajo de Maecker ^[4] en 1955 se ha explicado la generación de un jet del plasma de alta intensidad en base a las fuerzas electromagnéticas en la columna del arco eléctrico. En su estudio analítico consideró de forma independiente cada una de las ecuaciones de conservación. Fue cuando Ramakrishnan ^[5] en 1978 propuso ecuaciones para un arco de alta intensidad en estado estacionario, asumiendo un equilibrio termodinámico local del plasma, el arco es axialmente simétrico y la energía cinética del plasma es pequeña comparada con la entalpía, sabiendo que se deben de resolver simultáneamente las ecuaciones de conservación de masa, de momentum axial y radial, y de energía. Posteriormente investigaciones de Lowke ^[6] y Allum ^[7] entre otras, derivaron expresiones analíticas para relacionar características del arco como la diferencia de potencial eléctrico, el campo eléctrico, el radio del arco y la velocidad del plasma en función de la longitud del arco, la corriente, la temperatura y la presión. Hasta ese momento las expresiones analíticas se obtuvieron a través de simplificaciones muy significativas, despreciando los efectos viscosos y asumiendo arcos isotérmicos, propiedades físicas constantes y una forma simple del arco, lo que dio como resultado un sistema que se aleja mucho de la realidad.

A medida del avance de los equipos de computación, fue posible la implementación de métodos numéricos más complejos que fueran capaz de dar una mejor descripción del proceso de arco eléctrico. Por medio del uso de softwares CFD (Computational Fluid Dynamics) fue posible lograrlo. En el trabajo de Ushio ^[8] se han realizado simulaciones numéricas de un arco eléctrico de corriente directa usando las ecuaciones de Navier-Stokes, conservación de energía y ecuaciones de Maxwell. Siendo el primero en predecir la contribución de los diferentes mecanismos de calor transferido del arco a la placa de trabajo.

En el 2003, el artículo presentado por M. Ramírez ^[9] presenta una contribución al generar mapas adimensionales de las características más importantes del arco, temperatura, velocidad y densidad de flujo magnético. Estos mapas adimensionales son válidos para cualquier condición de operación (sin importar la longitud de arco y su corriente), dentro de un amplio rango de condiciones del proceso. La única restricción es que estos mapas solo son válidos en arcos generados entre cátodos de grafito en aire como el gas de plasma.

M. Tanaka ^[10] vio que la aplicación más significativa del arco eléctrico es la soldadura por arco eléctrico. Para el entendimiento y control de este proceso es necesario la capacidad de modelar el comportamiento de las propiedades de todo el sistema en el proceso del arco. Ellos simularon la región total de un sistema de soldadura GTAW, consistiendo en un cátodo de tungsteno, un plasma y un ánodo derretido conocido como “charco de soldadura” y aplicaron un modelo matemático para poder predecir las distribuciones de temperatura y velocidad en toda la región de la soldadura GTAW utilizando Ar y He con una longitud de arco e intensidad de arco constantes. Fue hasta que A. B. Murphy y M. Tanaka^[11] en el 2009, investigaron la influencia de las propiedades termofísicas de los gases de cobertura en los parámetros de la soldadura GTAW. Llegando a la conclusión que las propiedades de calor específico, conductividad térmica y viscosidad de los gases afectan la

profundidad del charco de soldadura, el producto de la densidad másica y calor específico determinan la constricción del arco, por último, el incremento en la conductividad eléctrica a bajas temperaturas provoca un charco de soldadura más superficial.

1.6 Hipótesis

En la simulación de arcos eléctricos a diferentes gases, las propiedades físicas de cada gas serán el factor decisivo en la cantidad de calor aportado desde el gas a la unión a soldar. El arco ardiendo en gas de Ar proveerá menos calor a la soldadura que el de CO₂ y el de He de acuerdo con las predicciones que arrojaría el modelado numérico, para arcos ardiendo con la misma corriente y la misma longitud del arco.

1.7 Objetivo

Simular arcos eléctricos de soldadura en diferentes gases de cobertura como argón, helio y CO₂ usando un modelo matemático basado en la magnetohidrodinámica del proceso a través de resolver las ecuaciones de conservación de masa, cantidad de movimiento, energía, leyes de Maxwell, ley de Ohm y ley de conservación de carga resueltas numéricamente con software CFD.

2. Metodología de trabajo

Se empleó un modelo matemático basado en los principios fundamentales de flujos de fluidos, conservación de energía, conservación de masa, conservación de carga eléctrica, así como las leyes que rigen el electromagnetismo, es decir, el modelo incluye las ecuaciones de continuidad, de Navier-Stokes, de conservación de energía, la ecuación de conservación de carga eléctrica, la ley de Ohm y las leyes de Maxwell. El conjunto de ecuaciones gobernantes sujeto a condiciones de frontera se resolvió de manera numérica empleando la técnica conocida como volumen de control e implementada en código PHOENICS.

2.1 Suposiciones

1. El plasma se encuentra en equilibrio termodinámico local (ETL). El equilibrio termodinámico local significa que todas las especies presentes en el plasma tienen la misma temperatura, es decir, tanto electrones pequeños como partículas ionizadas grandes poseen la misma temperatura.
2. Coordenadas cilíndricas, y problema en 2 dimensiones (radial y axial) al considerar simetría alrededor del eje axi-simétrico, dando lugar a eliminar los componentes angulares y derivadas angulares en todas las ecuaciones gobernantes.
3. Flujo de gas laminar. La suposición de flujo laminar se justifica porque los números de Reynolds típicos están entre 500 a 2000 en este proceso, en un jet libre la transición de laminar a turbulento se da alrededor de un Reynolds de 100,000, por lo que es buena esta suposición.
4. Estado estacionario.
5. Propiedades físicas en función de la temperatura.
6. Los efectos de gravedad y disipación de calor debido a la viscosidad son despreciables.
7. Presión atmosférica y condiciones normales en soldadura.

8. Los gases de cobertura del arco simulado fueron Ar, He y CO₂ y estos se consideraron puros, es decir, sin impurezas gaseosas ni considerando evaporación de las piezas metálicas a soldar.
9. Superficie del ánodo plana, lo cual indica que no se considera la superficie deformada del charco de soldadura.
10. Sistema de corriente directa, además de tener electrodo estático.
11. El plasma es ópticamente delgado, es decir, no se lleva a cabo la absorción de radiación dentro del arco, la radiación puede ser modelada en una forma aproximada, definiendo las pérdidas de radiación por unidad de volumen.

En la **Figura 4** se presenta el dominio de cómputo a resolver en dos dimensiones en coordenadas cilíndricas polares, mostrando las fronteras del sistema. La superficie catódica es representada de la sección A-C, teniendo una división de A-B el cual representa al “spot” del cátodo, explicado más adelante. La superficie anódica de F-E. La sección A-F representa un eje de simetría. Por último, C-D y D-E son fronteras abiertas al ambiente.

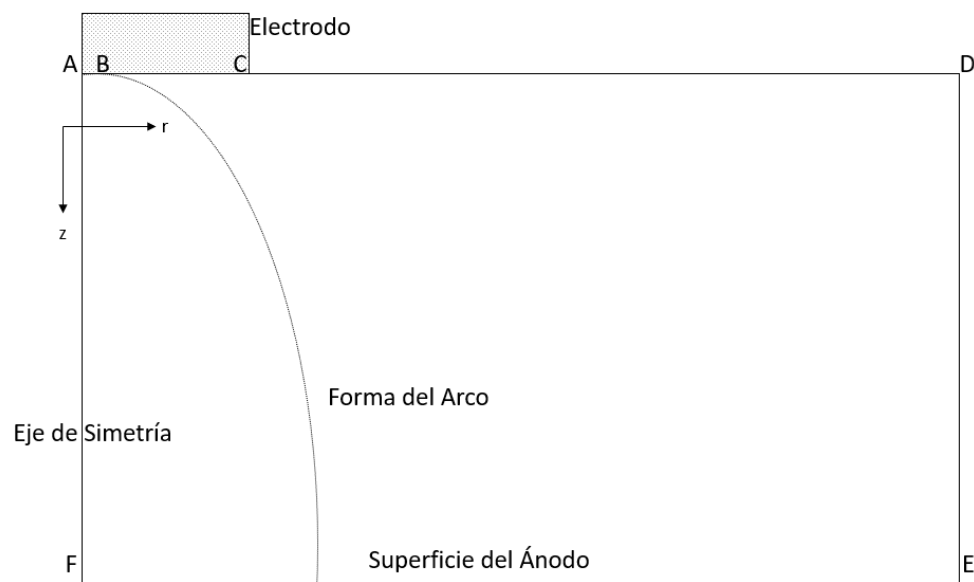


Figura 4 . Dominio de cómputo en 2D y coordenadas cilíndricas.

2.2 Ecuaciones gobernantes

Las ecuaciones por resolver para el sistema en coordenadas cilíndricas en 2D, involucran la conservación de masa, conservación de flujo de cantidad de movimiento y conservación de energía, así como las ecuaciones de Maxwell, la ley de Ohm y la conservación de carga, tal y como se presentan a continuación:

Ecuación de continuidad:

$$\frac{\partial}{\partial z}(\rho v_z) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r}(\rho r v_r) = 0 \quad (\text{eq.1})$$

Ecuación de conservación de momentum axial (Navier-Stokes z):

$$\frac{\partial}{\partial z}(\rho v_z^2) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r}(\rho r v_r v_z) = -\frac{\partial P}{\partial z} + \frac{2\partial}{\partial z}\left(\mu \frac{\partial v_z}{\partial z}\right) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r}\left(r\mu \left(\frac{\partial v_z}{\partial r} + \frac{\partial v_r}{\partial z}\right)\right) - B_\theta J_r \quad (\text{eq.2})$$

Ecuación de conservación de momentum radial (Navier-Stokes r):

$$\frac{\partial}{\partial z}(\rho v_r v_z) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r}(\rho r v_r^2) = -\frac{\partial P}{\partial r} + \frac{2\partial}{r\partial r}\left(\mu \frac{r\partial v_r}{\partial r}\right) - \frac{2v_r}{r^2} \mu + \frac{\partial}{\partial z}\left(\mu \left(\frac{\partial v_z}{\partial r} + \frac{\partial v_r}{\partial z}\right)\right) + B_\theta J_z \quad (\text{eq.3})$$

donde v_r y v_z son los componentes de velocidad radial y axial respectivamente, P es la presión, ρ es la densidad, J_z y J_r son los componentes de densidad de corriente axial y radial respectivamente, B_θ es la densidad de flux magnético azimutal, y μ es la viscosidad del plasma.

Ecuación de conservación de energía:

$$\frac{\partial}{\partial z}(\rho v_z h) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r}(\rho r v_r h) = \frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{k}{c_p} \frac{\partial h}{\partial z}\right) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r}\left(\frac{kr}{c_p} \frac{\partial h}{\partial r}\right) + S_t \quad (\text{eq.4})$$

El término fuente S_t se representa por:

$$S_t = \left(\frac{J_z^2 + J_r^2}{\sigma}\right) - S_r + \frac{5}{2} \frac{k_B}{e} \left(\frac{J_z}{c_p} \frac{\partial h}{\partial z} + \frac{J_r}{c_p} \frac{\partial h}{\partial r}\right) \quad (\text{eq.5})$$

donde, h es la entalpía, C_p es el calor específico, k es la conductividad térmica y σ es la conductividad eléctrica. El primer término del lado derecho de la ecuación 5 es el efecto Joule, S_r son las pérdidas de radiación por unidad de volumen y el último término representa el efecto Thompson.

Ecuaciones de Maxwell:

$$\bar{\nabla} \times \bar{E} = 0 \quad (\text{eq.6})$$

$$\bar{\nabla} \times \bar{H} = \bar{J} \quad (\text{eq.7})$$

$$\bar{\nabla} \cdot \bar{B} = 0 \quad (\text{eq.8})$$

E es el campo eléctrico y H es el campo magnético.

Ecuación de conservación de carga:

$$\bar{\nabla} \cdot \bar{J} = 0 \quad (\text{eq.9})$$

Ley de Ohm:

$$\bar{J} = \sigma \bar{E} \quad (\text{eq.10})$$

A partir de las ecuaciones de Maxwell, la conservación de carga y la ley de Ohm, es posible determinar las características eléctricas del arco. Sin embargo, es conveniente expresar el problema eléctrico en términos de potencial eléctrico combinando las ecuaciones 9 y 10.

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(\sigma r \frac{\partial \phi}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\sigma \frac{\partial \phi}{\partial z} \right) = 0 \quad (\text{eq.11})$$

donde ϕ es el potencial eléctrico relacionado al campo eléctrico a través de la siguiente ecuación:

$$\bar{E} = -\nabla \phi \quad (\text{eq.12})$$

Resolviendo ecuación 10 es posible obtener los componentes de la densidad de corriente con la ayuda de la ley de Ohm:

$$J_r = -\sigma \left(\frac{\partial \phi}{\partial r} \right) \quad (\text{eq.13})$$

$$J_z = -\sigma \left(\frac{\partial \phi}{\partial z} \right) \quad (\text{eq.14})$$

Finalmente, debido al hecho de que la mayoría de la corriente es axialmente directa, la densidad del flux del campo magnético puede ser integrada a partir de la ley de Ampere (eq.7):

$$B_\theta = \frac{\mu_0}{r} \int_0^r J_z r dr \quad (\text{eq.15})$$

Las ecuaciones 11 a 15 describen enteramente el problema electromagnético, y son derivadas combinando las leyes de Maxwell, Ohm y la conservación de carga.

Región del charco de soldadura (frontera del ánodo)

Los diversos mecanismos de transferencia de calor son importantes para representar la transferencia de calor del arco al charco de soldadura. Los mecanismos considerados son:

- Condensación de electrones
- Transferencia de calor por convección
- Transferencia de calor por radiación
- Energía Transportado por electrones

Condensación de electrones. Este mecanismo de transferencia de calor es resultado de la condensación de los electrones al moverse del arco al charco de soldadura. El proceso de condensación genera un flux de calor proporcional a la función trabajo (work function) del charco de soldadura:

$$Q_{conden} = J_a V_\phi \quad (\text{eq.16})$$

donde J_a es la densidad de corriente en el ánodo, la cual depende de las condiciones del arco dadas para la solución del modelo del arco. V_ϕ es la función trabajo del charco de soldadura.

Convección. La alta velocidad del jet incidiendo en la superficie del ánodo calienta el charco de soldadura por convección y este calor es calculado

asumiendo que el calor transferido es gobernado por una correlación empírica:

$$Q_{conv} = \frac{0.915}{\sigma_{Hw}} \left(\frac{\rho_b \mu_b}{\rho_w \mu_w} \right)^{0.43} \left(\rho_w \mu_w \frac{v_r}{r} \right)^{0.5} (h_b - h_w) \quad (\text{eq.17})$$

Donde h y σ_{Hw} son la entalpía y número de Prandtl y los sufijos b denotan la posición en el borde de la capa límite del plasma gaseoso, mientras w representa la posición en la superficie del charco.

Transferencia de calor por radiación. La radiación proveniente del arco a la superficie del charco es calculada por la aproximación de factores descritos por la siguiente ecuación:

$$Q_{rad} = \int_{V_j} \frac{S_r}{4\pi r_{i,j}^2} \cos \Psi \, dV_j \quad (\text{eq.18})$$

donde $r_{i,j}$ es el vector que une la superficie de cada elemento en la superficie del charco con cada volumen en el arco, V_j , Ψ es el ángulo formado entre $r_{i,j}$ y el vector normal de la superficie del charco.

Efecto Thompson. Transporte de energía térmica por medio de electrones calientes, el cual es descrito por la ecuación:

$$Q_{Tho} = \frac{5J_a}{2e} k_b (\alpha T_b - T_w) \quad (\text{eq.19})$$

donde el parámetro α representa el rango entre la temperatura del electrón y la temperatura del plasma en la caída del ánodo. Para los cálculos un valor de 1.2 fue establecido para α , sacado del trabajo de J. Ushio en 1981^[12].

El flux de calor total es calculado por medio de la suma aritmética de todas las contribuciones de calor:

$$Q_{Total} = Q_{Tho} + Q_{conden} + Q_{conv} + Q_{rad} \quad (\text{eq.20})$$

2.3 Condiciones de Frontera

En la **Tabla 2** se muestra las condiciones a la frontera de todas las variables. Las fronteras son las líneas que están marcadas con letras mayúsculas en la Figura 4. La condición de frontera crítica es para ϕ en la región catódica, y para la densidad de corriente en la misma se supone que existe un pequeño círculo en el cátodo “spot”, con densidad de corriente, J_c , con un valor constante de $6.5 \times 10^7 A/m^2$, que fue usada como flux para el campo eléctrico ϕ . En las superficies anódica y catódica se establecen velocidades iguales a cero, en el eje de simetría se suponen gradientes igual a cero para todas las variables y velocidad radial cero. Las condiciones en el eje de simetría son de cero flujo. En las fronteras abiertas a la atmósfera se deja escapar gas que se lleva energía por convección. Finalmente, en la superficie del ánodo se aplica la condición de no deslizamiento para el plasma, se aplican las ecuaciones correspondientes a los 4 mecanismos de transferencia de calor (ecuaciones 16, 17, 18 y 19). En especial destaca la convección en la que se emplea una correlación de jets calientes verticales incidiendo en una superficie plana con un punto de estancamiento (ecuación 17). En esa misma frontera se pone el potencial eléctrico con valor arbitrario de cero y se fija la temperatura (o entalpía) a un valor constante que corresponda al punto de ebullición del material a soldar. En este trabajo tanto la función trabajo como el punto de ebullición se han considerado de hierro.

Tabla 2 Condiciones a la frontera

	V_r	V_z	H	Φ
AB	0	0	T=4000K ó h=7.2x10 ⁶ J/Kg $Q_{ef} = J_z V_c$	$\frac{\partial \Phi}{\partial z} = -\frac{J_c}{\sigma}$
BC	0	0	T=4000K ó h=7.2x10 ⁶ J/Kg	$\frac{\partial \Phi}{\partial z} = 0$
CD	0	$\frac{\partial V_z}{\partial z} = 0$	T=1000K ó h=5.2x10 ⁵ J/Kg	$\frac{\partial \Phi}{\partial z} = 0$
DE	$\frac{\partial V_r}{\partial r} = 0$	$\frac{\partial V_z}{\partial r} = 0$	T=1000K ó h=5.2x10 ⁵ J/Kg	$\frac{\partial \Phi}{\partial r} = 0$
EF	0	0	T=1000K ó h=5.2x10 ⁵ J/Kg $Q_a = eq. 20$	$\frac{\partial \Phi}{\partial r} = 0$
AF	0	$\frac{\partial V_z}{\partial r} = 0$	$\frac{\partial h}{\partial r} = 0$	$\Phi = 0$

2.4 Técnica de solución

La codificación de la resolución numérica se basa en el método numérico Volumen de Control. En esta técnica divide al sistema en un número finito de pequeños volúmenes sin traslape, de tal manera que hay sólo un volumen de control rodeando a cada nodo. También el tiempo se divide o discretiza en pequeños segmentos. Todas las ecuaciones de conservación que

gobiernan al problema se integran sobre cada volumen. El resultado de tal integración es la transformación de un sistema de ecuaciones parciales a varios sistemas lineales de ecuaciones algebraicas, los cuales pueden resolverse por medio de técnicas numéricas iterativas. Cuando los sistemas lineales de ecuación son resueltos, la solución consiste en obtener los valores de las variables dependientes en los nodos. La característica más atractiva de esta técnica es que la solución resultante implica la conservación integral de la cantidad conservada dentro del volumen de control y por lo tanto en todo el dominio.

El poder de la técnica radica en el hecho de que todas las ecuaciones de conservación pueden escribirse de una manera similar en su forma, y por lo tanto la técnica de resolución puede ser la misma sin importar el fenómeno de transporte a describir. Como se muestra a continuación.

$$\nabla \cdot \Gamma \phi + S_{\phi} = \frac{\partial \rho \phi}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \nabla \phi) \quad (\text{eq. 21})$$

Donde Γ , ϕ , S_{ϕ} , son el coeficiente difusivo de transporte general, la variable dependiente general y el término fuente respectivamente. Entonces, la generación de cada ecuación de transporte consiste en asignar valores adecuados de Γ , ϕ , S_{ϕ} . La ecuación representa un balance de ϕ , en donde se aprecian el término transitorio (o acumulación de ϕ), seguido del término de entradas netas por transporte convectivo de ϕ , el término de entradas netas de transporte difusivo de ϕ , y el término fuente de generación de ϕ .

2.5 Software utilizado

El método numérico resuelve simultáneamente todas las ecuaciones gobernantes en conjunto con las condiciones de frontera establecidas y sus propiedades físicas aplicando la técnica de volumen de control.

Posteriormente, se implementa en PHOENICS, el cual consta de tres programas principales (Satellite, Earth, Photon). Donde el usuario plantea el problema por medio de la manipulación de dos archivos, Q1 y Ground.for (el

primero escrito en lenguaje PIL (Phoenix Input Language) y el segundo escrito en lenguaje de programación FORTRAN) los cuales los compila "Satellite", resuelve el problema numérico "earth" y presenta los resultados en forma de archivo phi y result, y finalmente, la visualización de manera gráfica de los resultados en "Photon".

2.5.1 Archivo Q1

El Q1 es un archivo de texto que usa comandos PIL (PHOENICS Input Language) y su función es definir el problema físico a resolver. Es decir, se establecen las ecuaciones gobernantes, las condiciones a la frontera, condiciones iniciales, la geometría empleada, la malla, propiedades de los materiales y parámetros numéricos. El Q1 es donde se alimenta la formulación matemática del fenómeno físico a resolver.

2.5.2 Archivo Ground.for

Archivo fuente de FORTRAN, en el cual se introducen condiciones no lineales y funciones complejas que ayudan a complementar al Q1 y le dan robustez y flexibilidad al paquete en su conjunto.

2.6 Diseño de las simulaciones en computadora

Se realizaron corridas de cómputo, Ar, He y CO₂, con una longitud del arco constante (L=5mm) y una intensidad de corriente constante (I=200 A), siendo las condiciones más utilizadas de trabajo en la soldadura por arco eléctrico GTAW. Para esto se realizó la captura de todos los parámetros a utilizar en el archivo Q1, se debe tener en cuenta que estos parámetros son constantes para cada una de las corridas por lo que solo se realiza un Q1 (ver anexo 1).

La geometría utilizada se definió como se muestra en la Figura 4, con una longitud en Y de 10 mm y una dirección en Z de 5 mm, recordando que son en coordenadas cilíndricas. En cuanto a la malla, se utilizaron 115 nodos en dirección "Y" y 70 nodos en dirección "Z". Colocando 10 nodos en el spot,

punto A al punto B en la **Figura 4**, y 105 nodos para el resto de la longitud en “Y”, punto B al punto D en la Figura 4; en cada una de las regiones radiales los nodos se tiene una malla uniforme. En dirección “Z” se dividió en 2 regiones, esto con el fin de poder colocar 2 mallas de 35 nodos cada una para poder afinar éstas, tanto cerca del ánodo como del cátodo, siendo éstos nuestros puntos de interés. Por lo que la malla utilizada se muestra a continuación en la **Figura 5**.

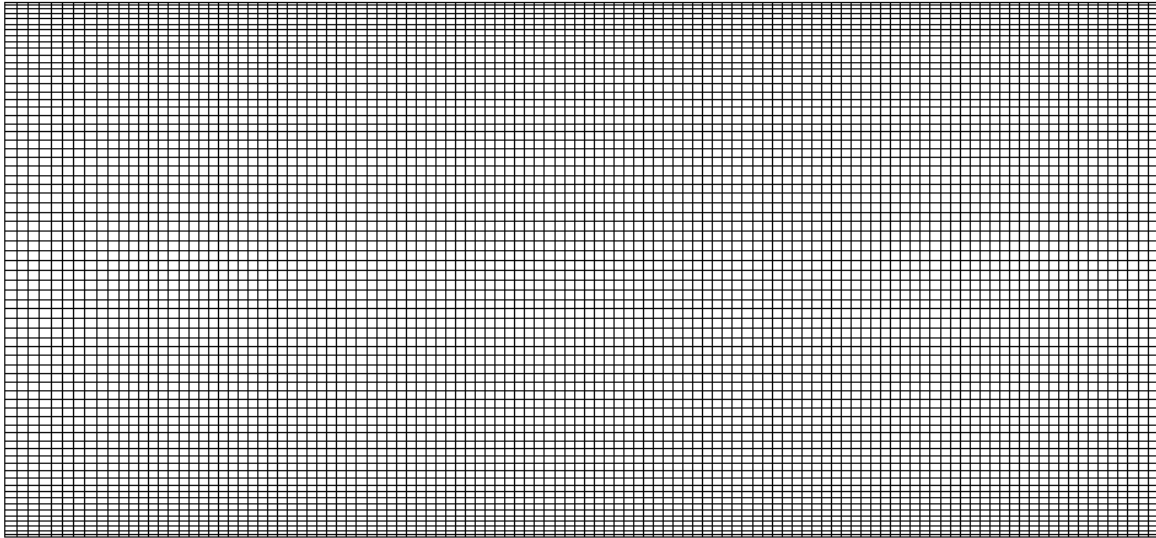


Figura 5. Malla utilizada para la región de la soldadura GTAW

La convergencia de los datos se alcanzará hasta que el porcentaje de error de cada una de las variables, presión (P1, asociada a la ecuación de continuidad), velocidad radial (V1, asociada a la componente radial de la ecuación de Navier-Stokes), velocidad axial (W1, asociada a la componente axial de la ecuación de Navier-Stokes), entalpía (H1, asociada a la ecuación de conservación de energía) y campo magnético (C27, asociada a la ecuación de de potencial eléctrico, eq. 11), sea menor al 0.01% al resolver las 5 ecuaciones simultáneamente.

Por último, se realizó la captura de las propiedades en función de la temperatura (densidad, viscosidad, calor específico, entalpía, conductividad

eléctrica y radiación) de cada uno de los gases, Ar, CO₂ y He, en el archivo Ground.for (ver anexo 2, 3 y 4).

2.7 Propiedades de los gases

Siendo que el comportamiento de las propiedades varía con respecto a la naturaleza de cada uno de los gases, entender este comportamiento es necesario para una buena selección de gases para la soldadura GTAW.

Las propiedades de los arcos cuando se utilizan diferentes gases son determinadas por las propiedades termofísicas (densidad, entalpía y calor específico), los coeficientes de transporte (viscosidad, conductividad térmica y conductividad eléctrica) y el coeficiente de emisión de radiación de cada uno de los gases utilizados. En este trabajo se utilizaron como gases Ar, He y CO₂ completamente puros, por lo que se presenta a continuación la diferencia de propiedades que posee uno con respecto al otro en un rango de temperaturas de 300 a 30,000 K. Las propiedades de los plasmas se calcularon y fueron proporcionadas por el investigador A. Murphy, 2017 ^[14] a través de una comunicación personal con otro académico participante en esta investigación (Patricio Méndez de la Universidad de Alberta en Canadá).

2.7.1 Propiedades termofísicas

En las **Figuras 6, 7 y 8** se presenta graficadas en función de la temperatura la densidad, la entalpía y el calor específico a presión constante de 1 atm tanto para el plasma de argón (líneas azules), el de CO₂ (líneas naranjas) y por último el plasma de He (líneas grises).

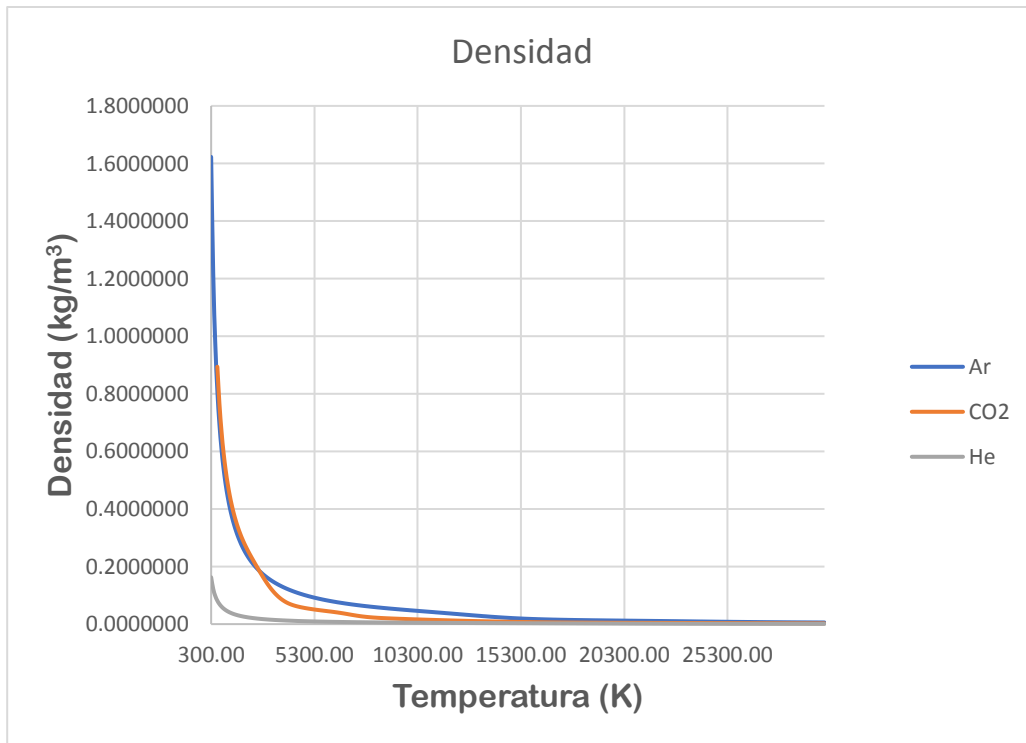


Figura 6. Densidad Ar, He y CO₂

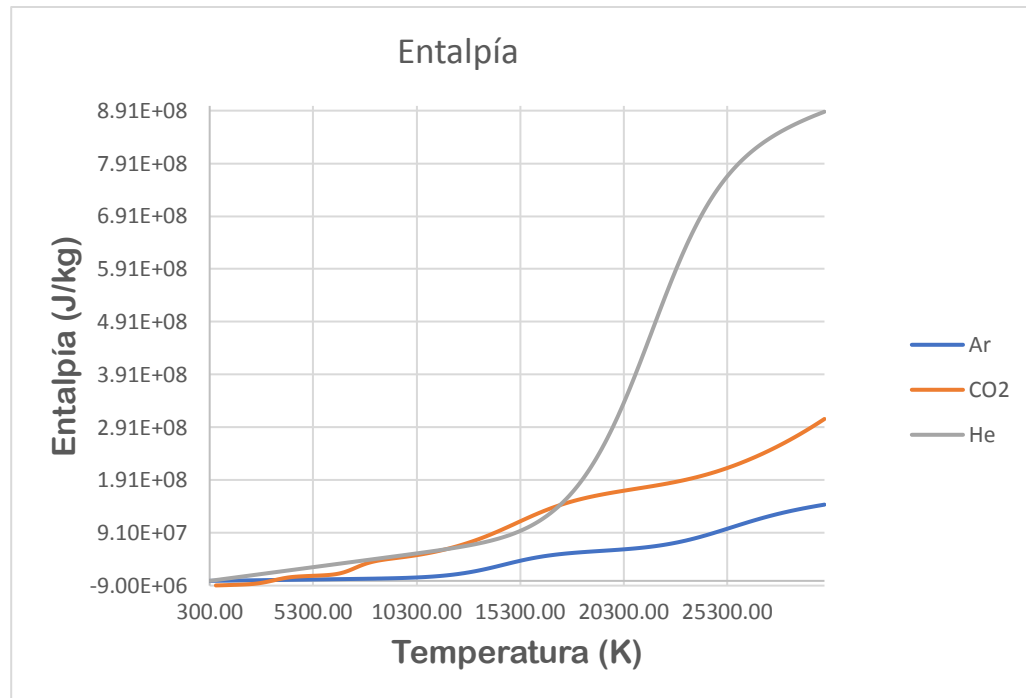


Figura 7. Entalpía Ar, He y CO₂

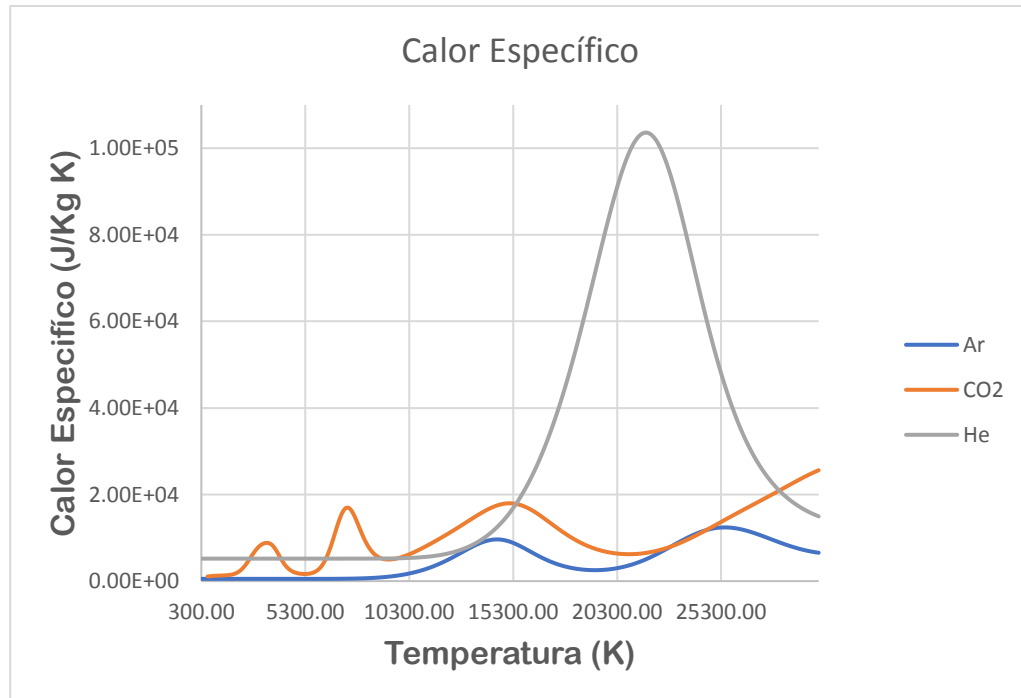


Figura 6. Calor específico Ar, He y CO₂

Primeramente, la densidad de los gases es completamente dependiente del peso y tamaño de partícula de los gases, siendo el Ar el gas más denso y el helio el menos denso entre los tres, **Figura 6**, ya que conforme se aumenta la temperatura hay una disminución de la densidad debido a que, según la Ley General de los Gases, cuando un gas diatómico se disocia este perderá la mitad de su densidad.

Debido a que el Ar y el He son gases monoatómicos solo presenta ionizaciones. Este fenómeno es más perceptible en las curvas de calor específico, **Figura 7**, en cuales se observa un distinto comportamiento para cada gas. En el caso del Ar presenta dos picos en 15000 K y 25000 K aproximadamente, siendo estas las temperaturas de su primera y segunda ionización respectivamente. En el caso del He presenta un único pico en 22000 K aproximadamente, siendo la temperatura de su única ionización aparente. En el caso de los gases moleculares como el CO₂, se presenta un pico adicional a una temperatura de 3500K, siendo su temperatura de disociación del gas

y dos picos a 7500 K y 15000 K aproximadamente siendo sus temperaturas de ionización del gas. Para comprender más a fondo las ionizaciones y disociaciones (si fuese el caso) que se llevan en el plasma dependiendo de la naturaleza del gas, es necesario un mayor estudio de la cinética del plasma el cual no es el objetivo de este trabajo.

Los valores de entalpía y calor específico, **Figura 7 y 8** respectivamente, del Ar son las menores de los 3 gases. Dado que son propiedades dependientes de la masa, si se hiciese la multiplicación de estas propiedades por la densidad la diferencia de valores entre el Ar, He y CO₂ sería menor al eliminar la dependencia másica.

2.7.2 Coeficientes de transporte

En las **Figuras 9, 10 y 11** se presentan la viscosidad, la conductividad térmica y la conductividad eléctrica a 1 atm de presión en función de la temperatura tanto para gas argón (líneas azules), el de CO₂ (líneas naranjas) y por último el plasma de He (líneas grises).

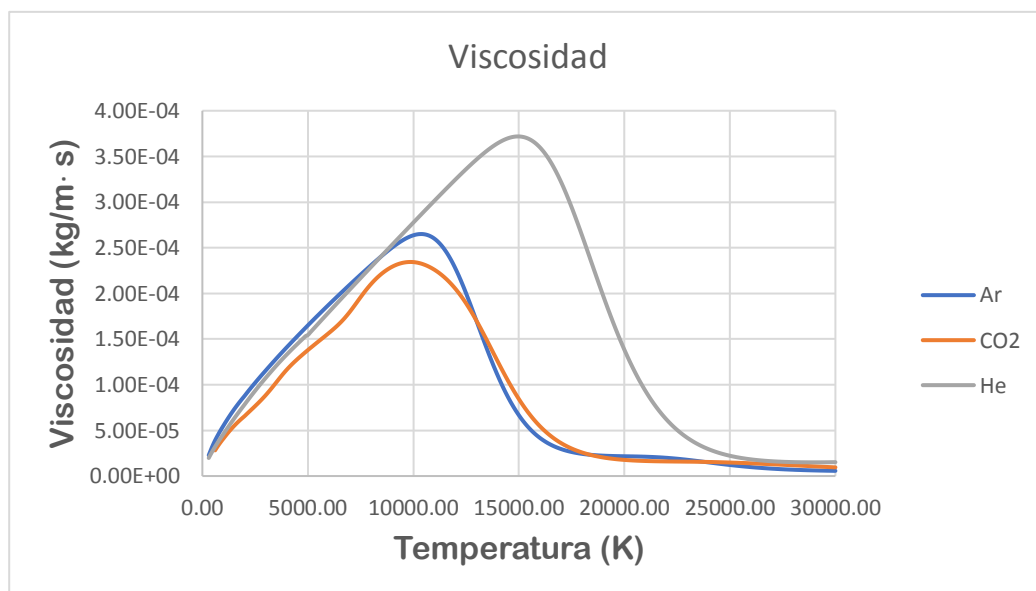


Figura 7. Viscosidad Ar, He y CO₂

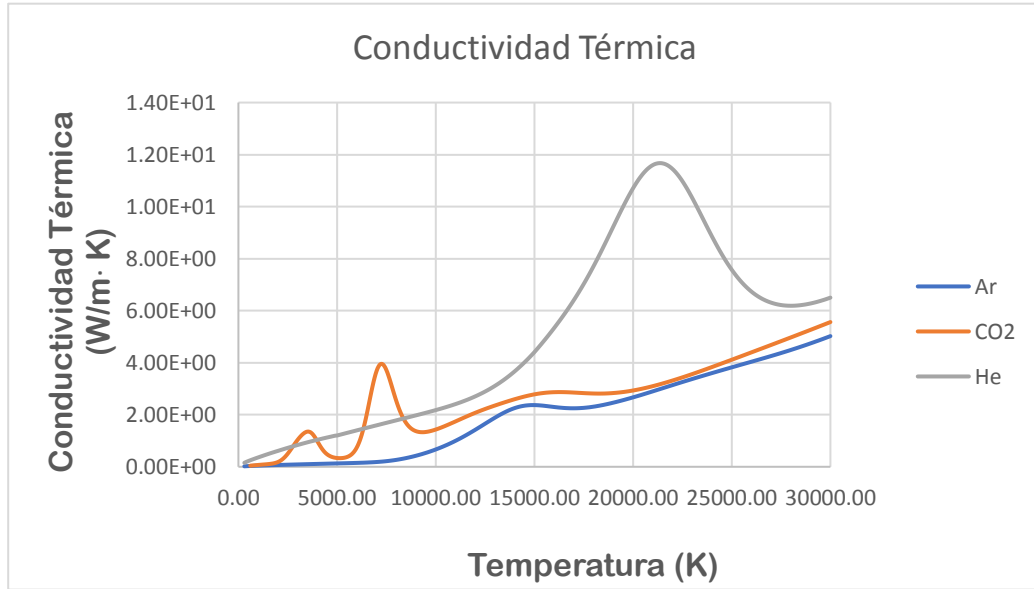


Figura 8. Conductividad Térmica Ar, He y CO₂

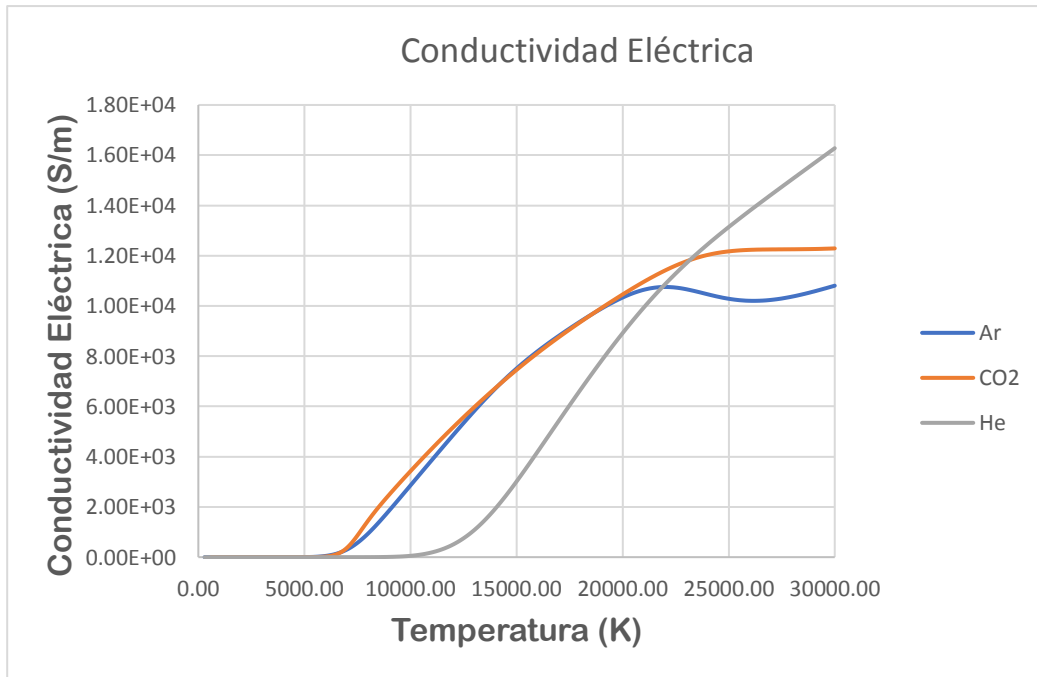


Figura 9. Conductividad Eléctrica Ar, He y CO₂

Con respecto a las propiedades de transporte son dependientes de la capacidad de mover especies pesadas. En el caso de la conductividad térmica, **Figura 10**, conforme se aumenta la temperatura el movimiento de electrones aumenta igualmente, este comportamiento lo siguen todos los gases. Además, en la conductividad térmica presenta picos a las mismas temperaturas que el calor específico; esto explicado por el transporte de energía requerido para que se lleven a cabo las reacciones de disociación y ionización para cada gas, respectivamente.

La viscosidad, **Figura 9**, es directamente proporcional a la masa del gas, por lo que el CO_2 presenta la menor viscosidad de los tres gases. La conductividad eléctrica, **Figura 11**, aumenta con respecto a la densidad de electrones presentes. Dado que los gases presentan una ionización a la temperatura de 15000 K su conductividad eléctrica es la misma, hasta que el Ar presenta su segunda ionización lo cual la disminuye a esa temperatura. En cambio, el He que presenta su ionización hasta los 22000 K, tiene una conductividad eléctrica menor a los otros dos, pero al alcanzar la temperatura correspondiente presenta una mayor conductividad que estos.

2.7.3 Coeficiente de emisión de Radiación

En la **Figura 12** se presentan la emisión por radiación a 1 atm de presión en función de la temperatura tanto para gas argón (línea azul), el de CO_2 (línea naranja) y por último el plasma de He (líneas grises).

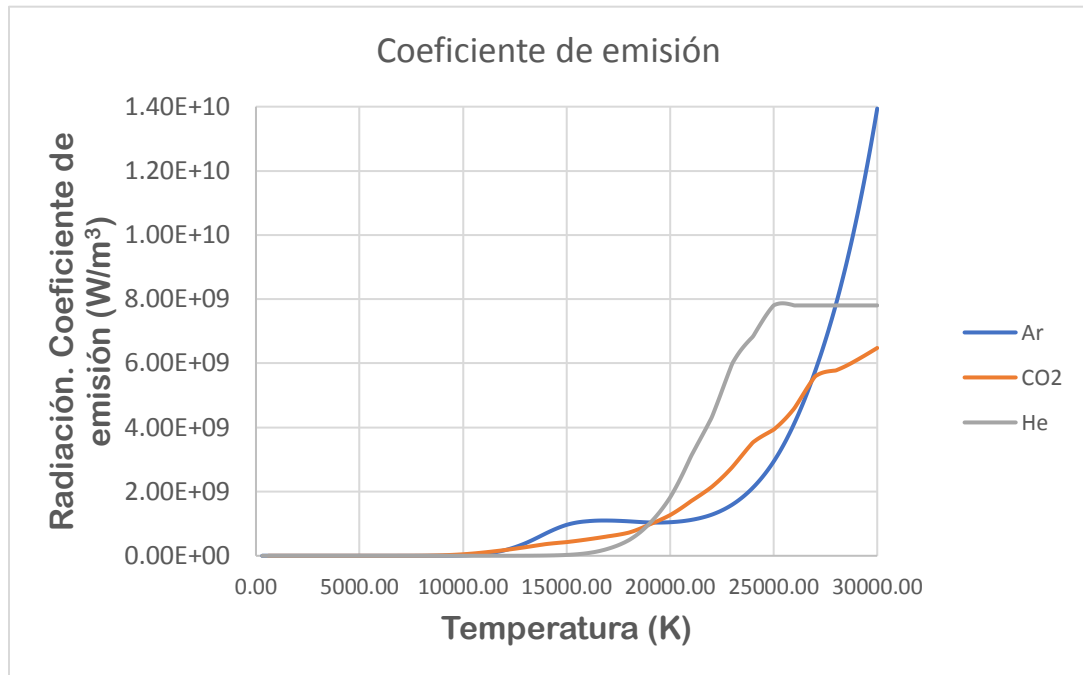


Figura 10. Coeficiente de emisión de radiación Ar, He y CO₂

No hay una forma concreta de poder obtener el valor del coeficiente de emisión de radiación de cada uno de los gases, pero se utilizan cálculos para obtener valores aproximados de éstos. Siendo que los cálculos utilizados varían de acuerdo con la literatura consultada, los valores obtenidos para los coeficientes de emisión de radiación nunca son los mismos, aunque en unos casos se logra observar una misma tendencia, aunque los valores sean diferentes.

Los valores que fueron utilizados para este trabajo para cada uno de los gases fueron provistos por A.B. Murphy ^[14]. Los datos provistos tenían unidades de $W/m^3/sr$, siendo que los estereorradianes (sr) representa la medición de ángulo sólido en un modelo tridimensional, representado por una esfera. Se realizó un ajuste de unidades para poder utilizar los datos provistos, siendo que se tenía que eliminar los estereorradianes, a lo cual se multiplicó cada coeficiente por un 4π , y así obteniendo los valores utilizados, **Figura 12**.

3. Resultados y Discusión

A continuación, se presenta cada uno de los mapas obtenidos por medio de Photon (Presión, Velocidad, Temperatura, Diferencia de Potencial Eléctrico, Densidades de Corriente, Densidad de Campo Magnético y Fuerzas de Lorentz), además de los perfiles de velocidad, temperatura, esfuerzos cortantes, densidad de corriente y mecanismos de calor de cada uno de los gases, a una longitud de arco de 5 mm y con una intensidad de corriente de 200 A. Siendo que a 200 A es la intensidad de corriente más utilizada en la Soldadura GTAW.

Primeramente, se muestran en la **Figura 13, 14 y 15** los patrones de flujo a través de vectores de velocidad para la soldadura para cada uno de los casos, Ar, CO₂ y He respectivamente.

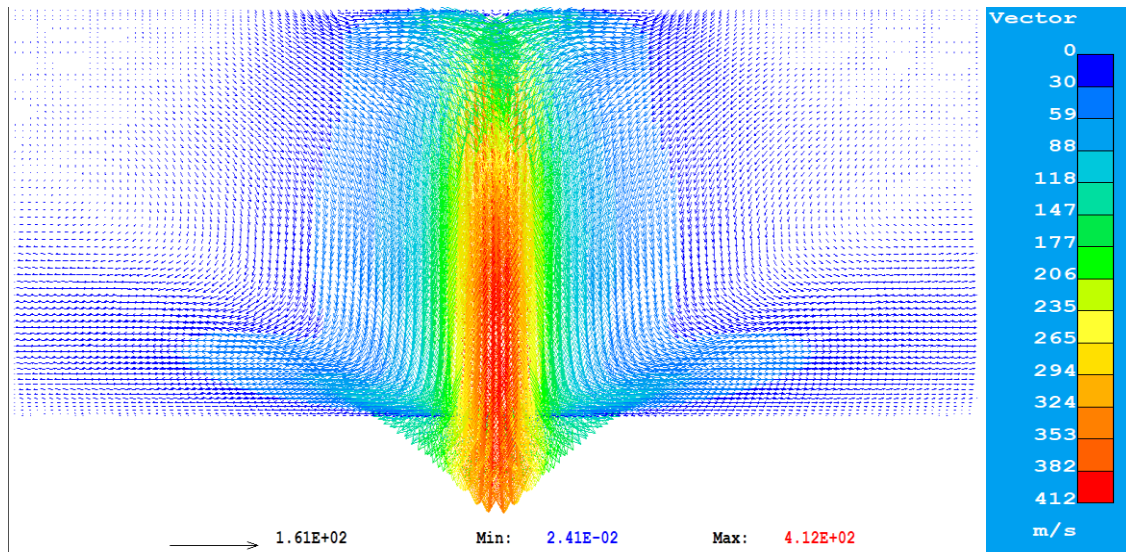


Figura 11. Vectores de velocidad en la soldadura GTAW, caso Ar

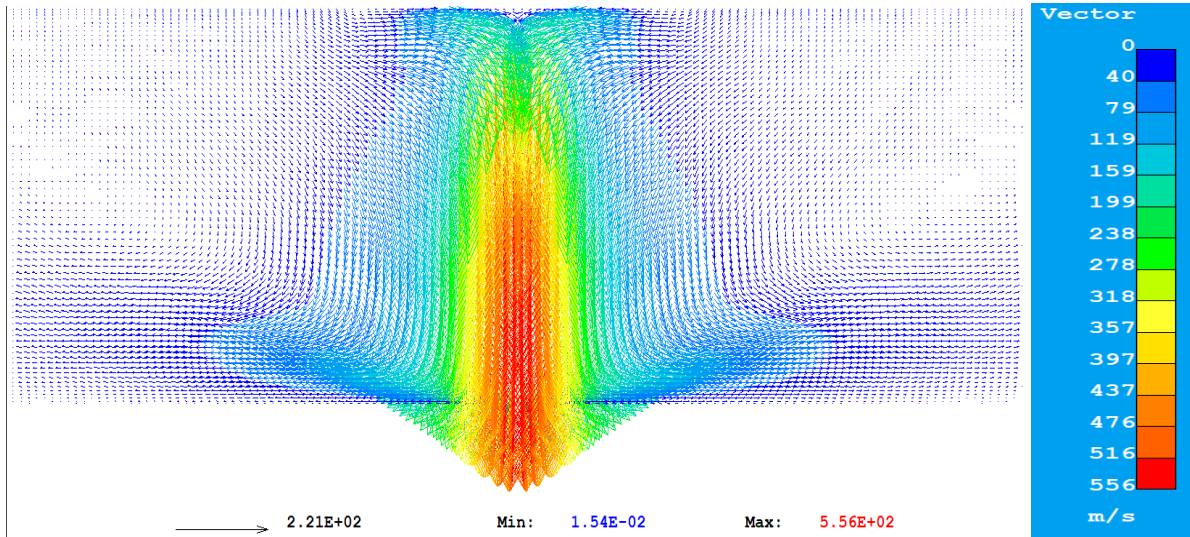


Figura 14. Vectores de velocidad en la soldadura GTAW, caso CO_2

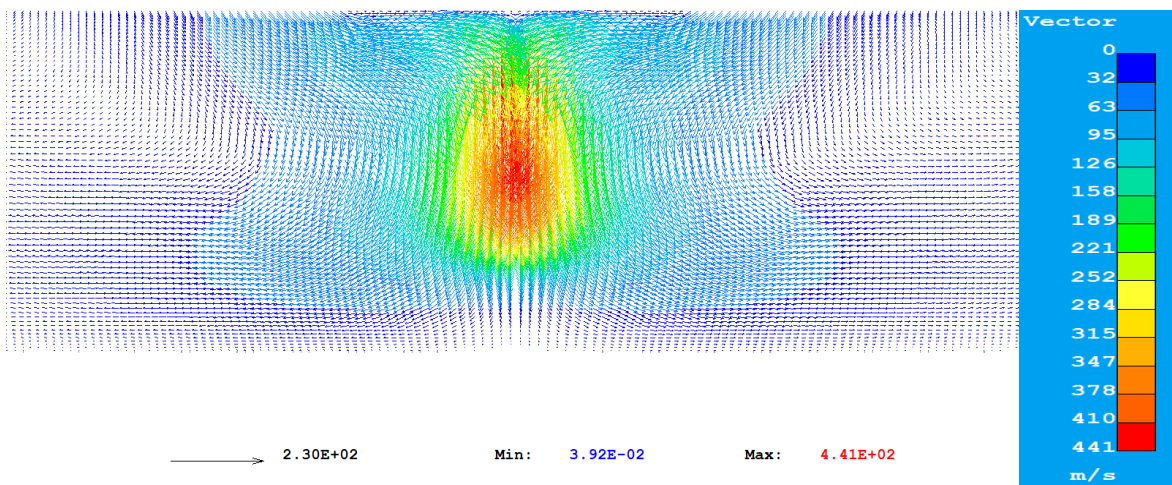


Figura 15. Vectores de velocidad en la soldadura GTAW, caso He

Los patrones de flujo presentan ciertas similitudes sin importar el gas de cobertura, esto debido a que los 3 casos. Se presenta el jet del arco que es dirigido desde el cátodo hacia el ánodo a través del eje de simetría, como resultado que el fluido es succionado del límite de arrastre cerca del cátodo. Se comienza con una velocidad de 0 en el cátodo, la cual incrementa rápidamente hasta una velocidad máxima, la distancia y el valor que se obtiene depende del caso. Posteriormente la velocidad disminuye debido a la expansión del jet hasta llegar a la zona de impacto. Para

poder comprender el campo de velocidades del jet, es necesario basarnos en la ecuación de Navier Stokes, ecuaciones 2 y 3, ya que la velocidad depende de la presión, y el producto entre la densidad de corriente y la densidad de campo magnético, conocido como Fuerzas de Lorentz.

Por otra parte, las diferencias entre cada uno de los casos son notables. Los máximos de velocidad alcanzados por cada jet son los siguientes: Ar 412 m/s, CO₂ 556 m/s y He 441 m/s, dando idea que el jet más intenso de los 3 es el del CO₂. En la frontera superior, los vectores de velocidad presentes que se dirigen al spot cubren una mayor superficie en el caso del He, a comparación del CO₂ que se limita únicamente a la superficie del cátodo. Esto se debe al ser una zona donde el gas aún no se encuentra ionizado, depende de la energía necesaria para ionizar cada uno de los gases. El He necesita la mayor energía entre los 3 gases para que se lleve a cabo su ionización, por lo que las densidades de corriente en el cátodo serán mucho mayores que la del Ar y CO₂; como resultado se tiene un campo magnético más grande en dirección radial, además que en el caso del CO₂ se presenta un campo magnético más grande, pero en dirección axial. Esto es observable en las **Figuras 16, 17 y 18** presentando la densidad de campo magnético del Ar, CO₂ y He, respectivamente.

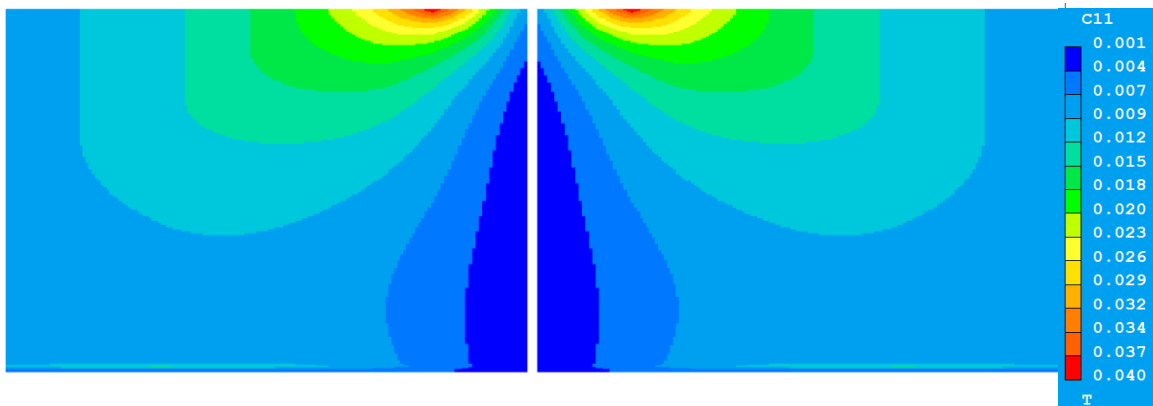


Figura 16. Mapa de densidad de campo magnético en la soldadura GTAW, caso Ar

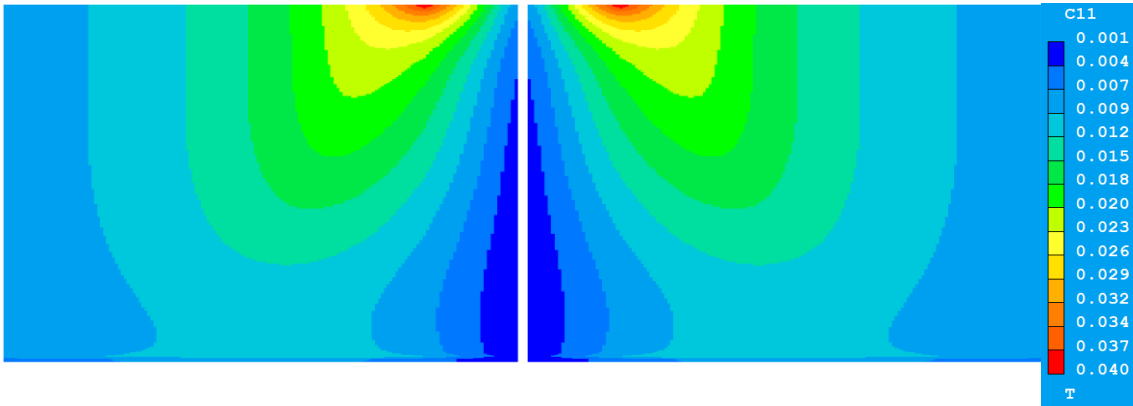


Figura 17. Mapa de densidad de campo magnético en la soldadura GTAW, caso CO₂

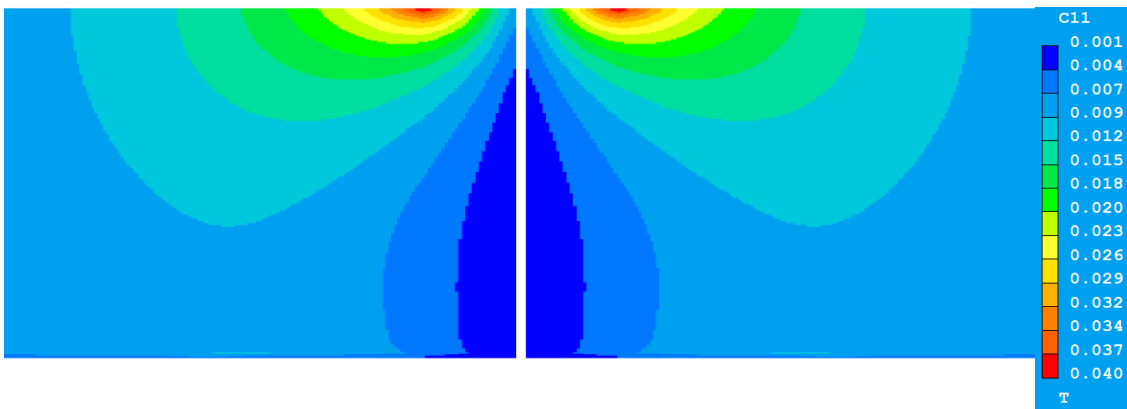


Figura 18. Mapa de densidad de campo magnético en la soldadura GTAW, caso He

La densidad del campo magnético es una cantidad eléctrica importante ya que es necesaria para obtener las Fuerzas de Lorentz, por el producto cruz de $B \times J$, las cuales conducen el flujo del jet. Los máximos valores de la densidad de campo magnético son calculados cerca del cátodo (0.040 T), y disminuyen conforme aumenta la distancia al cátodo. La razón del decremento en los valores es debido a la expansión del radio del arco. La densidad del campo magnético viene de la integración de la Ley de Ampere, la cual tiene dos términos significativos: la integral radial, que es proporcional a la corriente del arco, y un factor $1/r$ afuera de la integral. Este factor $1/r$ es el responsable de dar el valor al campo magnético. Por último la densidad de campo magnético es la responsable de darle la forma al arco.

Otro factor, como bien se dijo anteriormente, depende de la densidad de corriente. Esta propiedad altera por completo el comportamiento del plasma ya que con el producto cruz del campo magnético dan como resultado las Fuerzas de Lorentz. Estas fuerzas rigen por completo la hidrodinámica del sistema. Es necesario que el gas alcance una conductividad eléctrica de alrededor de los 2400 S/m para que sea posible el paso de corriente eléctrica en el gas, esto se da a diferentes temperaturas de cada uno de los gases; Ar 10000 K, CO₂ 9500 K y He 15000 K. Por lo que se presenta a continuación en las **Figuras 19, 20 y 21** los vectores de densidad de corriente de cada gas presentando su isoterma correspondiente. Se presentan densidades de corriente mayores en el spot del cátodo que disminuyen en tamaño, pero son más anchamente distribuidas conforme se mueve la coordenada axial al ánodo. Los perfiles radiales de densidad de corriente son parabólicos o gaussianos y en las orillas del arco se ven componentes radiales.

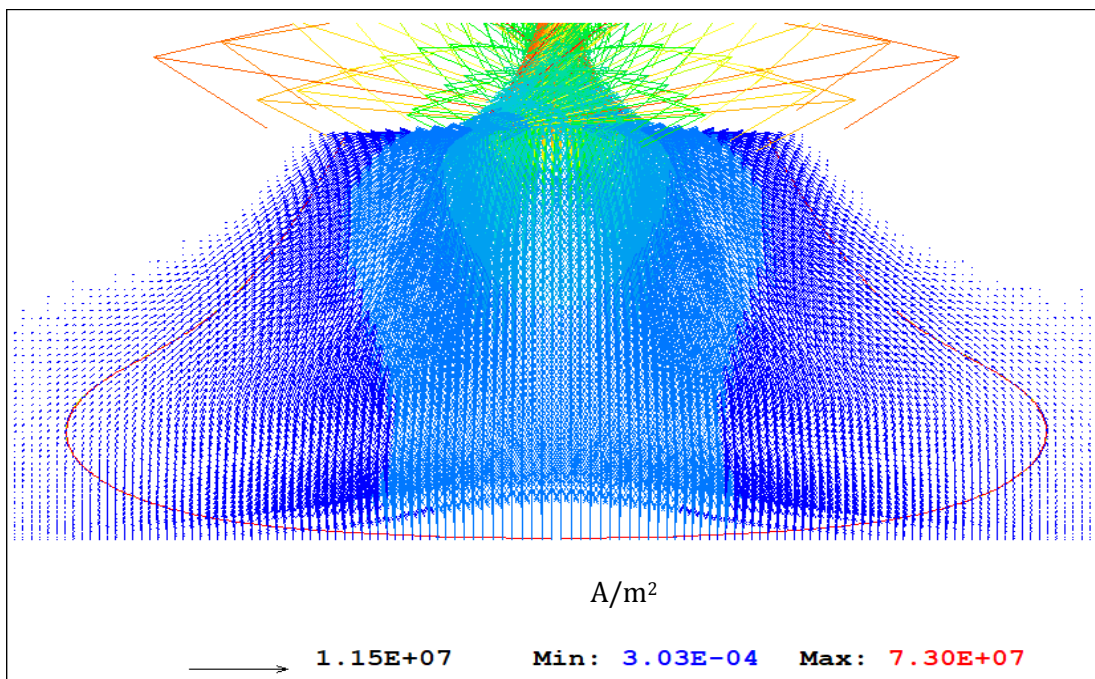


Figura 19. Vectores de densidades de corriente en la soldadura GTAW, caso Ar. Mostrando Isoterma de 10,000K

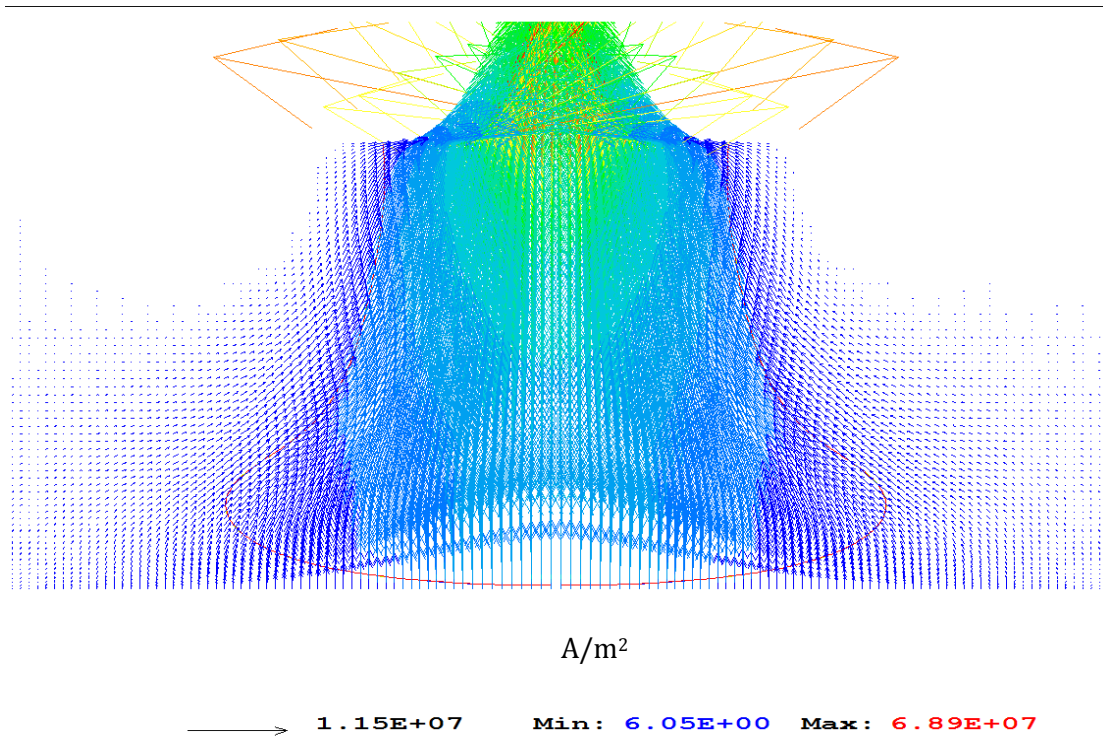


Figura 20. Vectores de densidades de corriente en la soldadura GTAW, caso CO_2 . Mostrando Isoterma de 9,500K

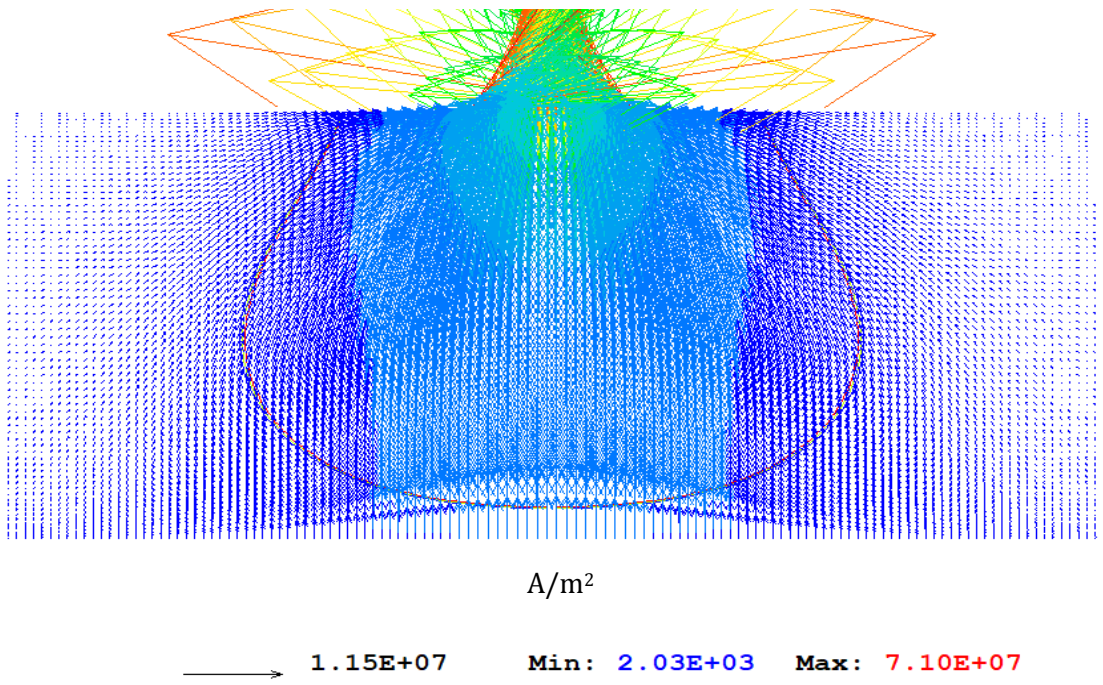


Figura 21. Vectores de densidades de corriente en la soldadura GTAW, caso He. Mostrando Isoterma de 15,000K

Es apreciable la distribución que tiene la densidad de corriente desde el límite del arco, donde componentes de corriente radial aumentan rápidamente hasta alcanzar sus valores máximos cerca de la línea de simetría. Conforme se aumenta la distancia axial desde el cátodo los máximos de la densidad de corriente radial disminuyen ya que se tiene un decremento de la densidad de corriente conforme el arco se va expandiendo, pero sus valores máximos están localizados a distancias radiales mayores. Los componentes axiales de la corriente dan una indicación de la expansión del arco, donde los máximos se encuentran en el eje de simetría. La suma de los componentes radiales y axiales da como resultado el campo de vectores que se mostraron en las **Figuras 19, 20 y 21**. Tanto el campo magnético como la densidad de corriente son los que definen la región de conducción del arco.

En la zona efectiva de cada gas se observa la clara diferencia que al necesitar una mayor temperatura el He para tener la conductividad eléctrica necesaria, su isoterma no presenta una forma gaussiana, más bien una forma redondeada y mucho más amplia que la de los otros dos gases en las zonas cercanas al cátodo. Lo que provoca el comportamiento disperso cerca del cátodo de los vectores de velocidad, en el caso del He.

La siguiente diferencia es la aceleración que presenta cada uno de los gases, esto es completamente dependiente de las Fuerzas de Lorentz, por lo que para comprender se presenta a continuación las Fuerzas de Lorentz del Ar, CO₂ y He en las **Figuras 22, 23 y 24** respectivamente.

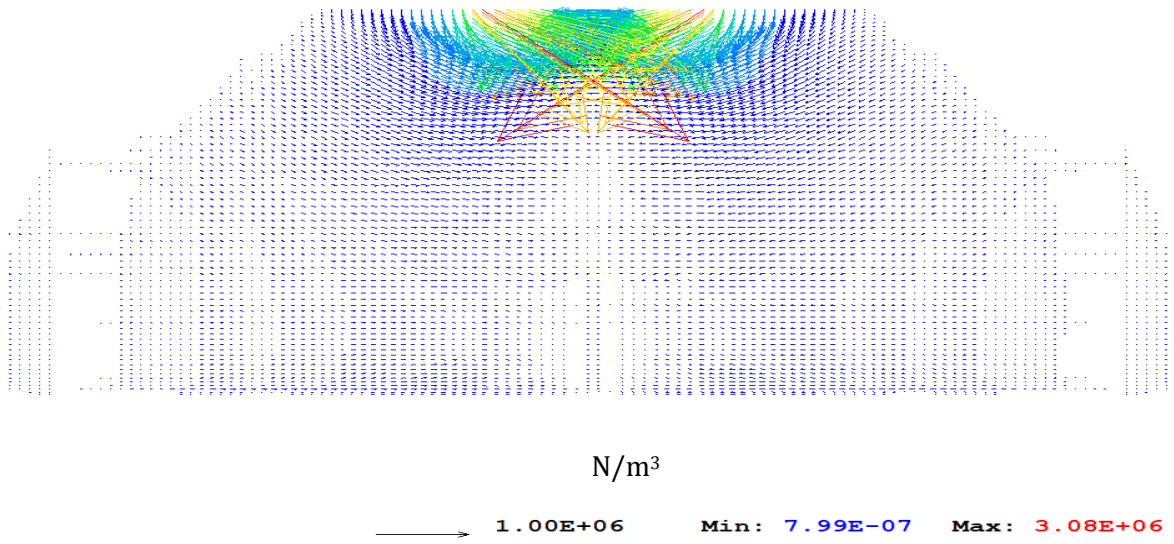


Figura 22. Vectores de las Fuerzas de Lorentz aplicadas en la soldadura GTAW, caso Ar

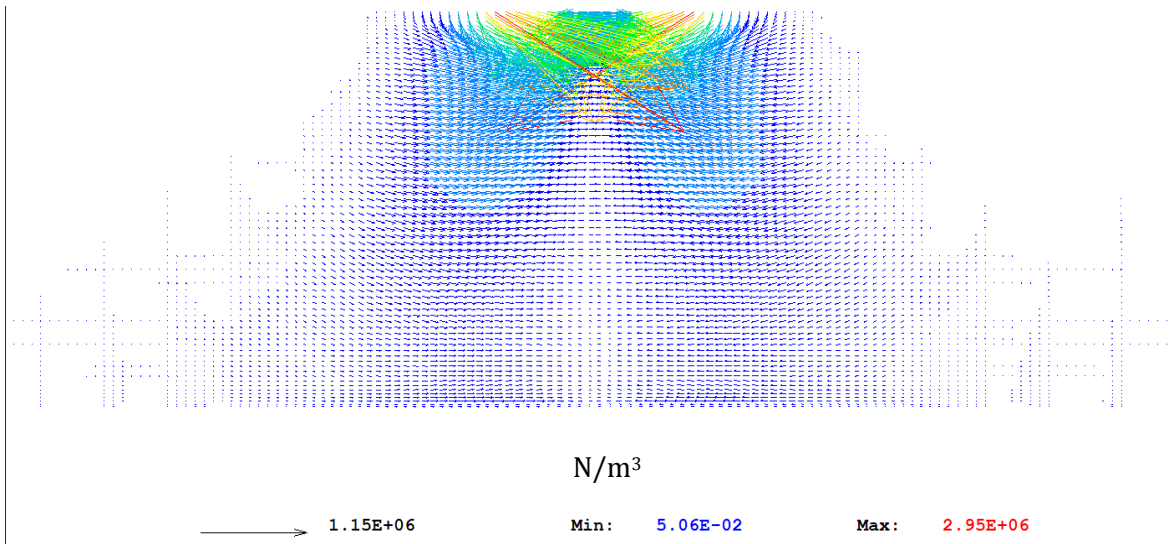


Figura 23. Vectores de las Fuerzas de Lorentz aplicadas en la soldadura GTAW, caso CO_2

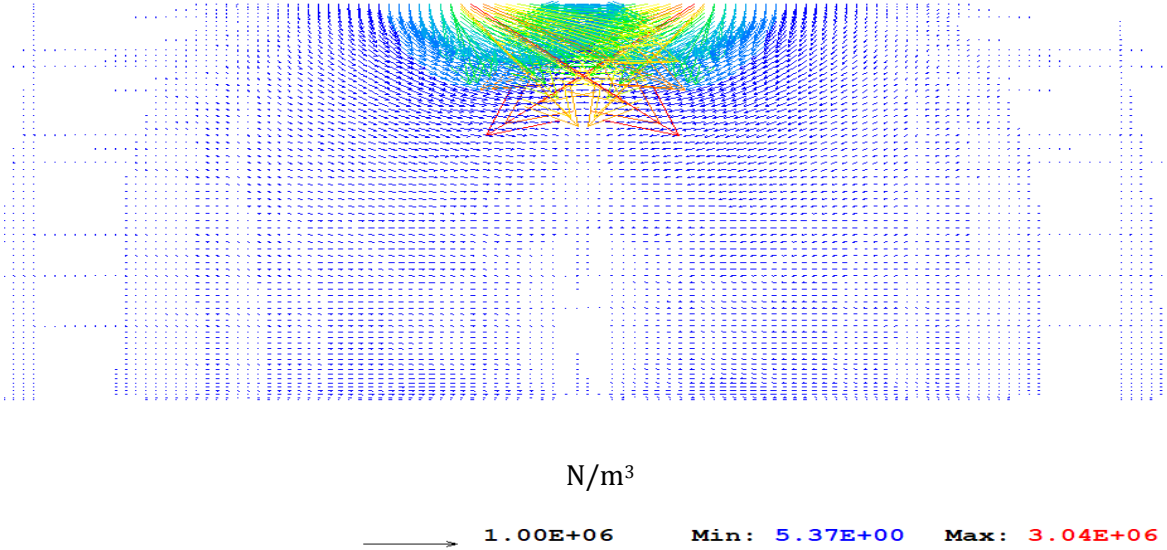


Figura 24. Vectores de las Fuerzas de Lorentz aplicadas en la soldadura GTAW, caso He

De esta manera se comprende que las Fuerzas de Lorentz tienen una mayor preferencia alinearse en dirección radial cerca de la línea de simetría y cercanas al cátodo que en dirección axial. Por lo tanto, la dirección del plasma en la zona catódica está regida por las Fuerzas de Lorentz. Dependiendo de la intensidad de las Fuerzas de Lorentz, la longitud del arco a la cual el plasma alcanzará su velocidad máxima será distinta Recordando las ecuaciones de conservación de momentum dirección axial, ecuación 3, y aplicándole las condiciones de frontera se tiene la siguiente ecuación.

$$\frac{\partial P}{\partial z} = B_{\theta} J_r$$

La cual presenta una igualdad entre la Presión del sistema y las Fuerzas de Lorentz. Por lo que se presenta en las **Figuras 25, 26 y 27** el mapa de Presión del Ar, CO₂ y He.

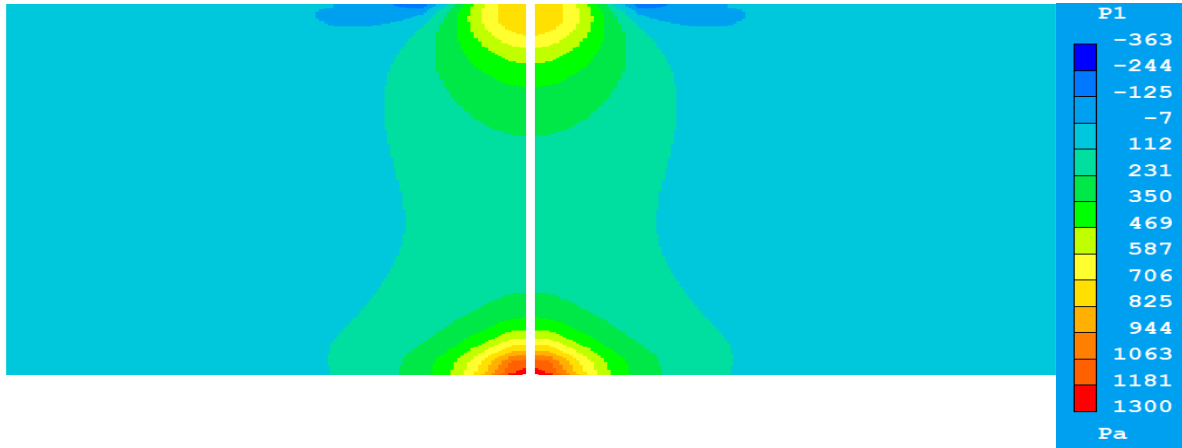


Figura 25. Mapa de presiones en la soldadura GTAW, caso Ar

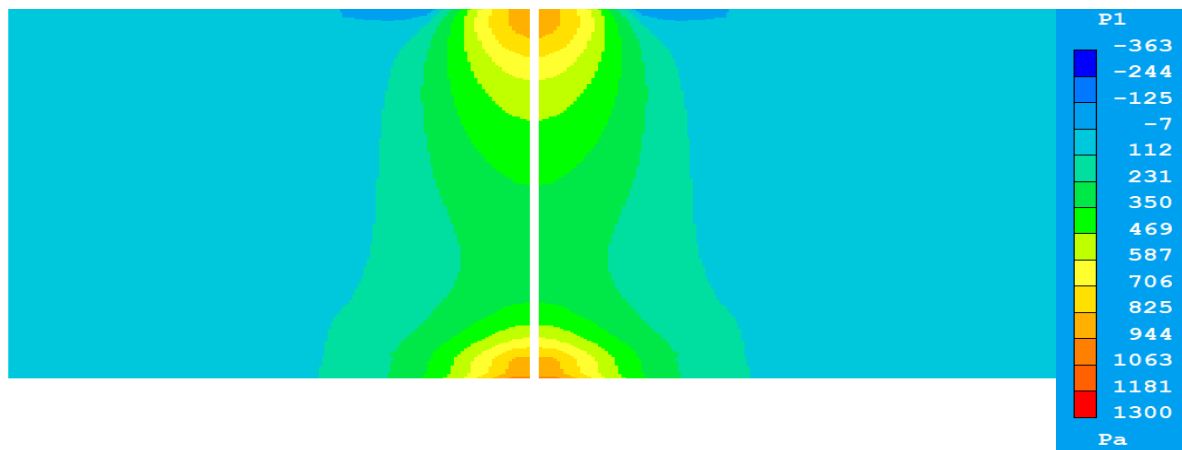


Figura 26. Mapa de presiones en la soldadura GTAW, caso CO₂



Figura 27. Mapa de presiones en la soldadura GTAW, caso He

El mapa de presiones explica el campo de velocidades de los arcos. La presión del arco presenta un máximo en la superficie catódica, en el “spot”, el cual es el contrabalance de las altas fuerzas electromagnéticas que rigen la región, dando como resultado la generación de un jet de alta velocidad dirigido hacia el ánodo. El jet viaja a través de una zona de alta presión en el cátodo a una de baja presión en la columna del arco, pero cuando alcanza la superficie anódica una segunda zona de alta presión se genera por el choque del plasma con la superficie no deformable del ánodo. El jet al chocar es desviado en dirección radial forzado a avanzar de manera paralela el ánodo. De esta forma es posible relacionar la velocidad que alcanza el jet con la presión máxima en la superficie catódica, teniendo el Ar valores de 869 Pa, el CO₂ de 920 Pa y el He de 482 Pa. Esto da un estimado de cuál de los gases tendrá una mayor aceleración, siendo el CO₂ y a cuál longitud del arco se alcanzará está, siendo que el He con el menor valor llegará a su velocidad máxima a la menor distancia del cátodo. Además, es posible conocer cuál de los 3 jets será el más intenso fijándose en el valor de la presión que se tiene en la superficie anódica y un estimado del grosor de los jets, debido a que los valores obtenidos se deben al golpe del plasma con la superficie anódica por la suposición de no deformación del ánodo. Siendo los valores obtenidos en la superficie anódica del Ar de 1302 Pa, del CO₂ de 1001 Pa y del He de 422 Pa. Nótese que en el caso del He es un jet muy disperso y posiblemente el más lento de los 3, por lo que la intensidad con la que llega a la superficie anódica es mínima además que es el jet más disperso de los 3. Debido a la dispersión de los jets al chocar con la superficie anódica se midieron los esfuerzos máximos cortantes en forma de un perfil comparativo del Ar (color azul), CO₂ (color naranja) y He (color gris), **Figura 28**.

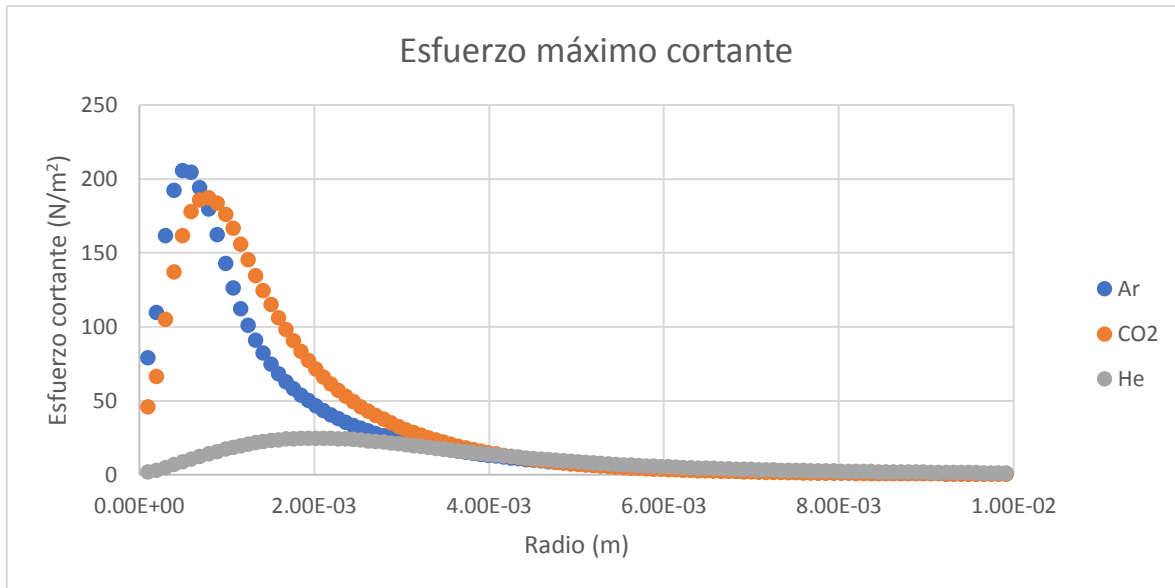


Figura 28. Perfil de esfuerzo máximos cortantes en la superficie del ánodo. Ar(azul), CO₂(naranja), y He (gris)

Los esfuerzos máximos cortantes presente en el ánodo tienen valores de 0 en el centro, pero aumentan rápidamente hasta alcanzar un valor máximo de 205.59 N/m² a 5.94E-4 m en el Ar, 183.55 N/m² a 8.91E-4 m en el CO₂ y 24.78 N/m² a 2.02E-3 m en el He. Al alcanzar su máximo un decrecimiento continuo en el esfuerzo cortante es observado. La forma de la curva de esfuerzo máximo cortante se relaciona con la velocidad radial del gas, el cual tiene un valor de 0 en el eje de simetría y aumenta conforme el jet es desviado en el punto de impacto, como se observa en los vectores de velocidad de cada uno de los gases, **Figuras 13, 14 y 15**. Siendo que los esfuerzos cortantes están en función de la velocidad, aclara la razón por la cual el He presenta los valores muy por debajo de los otros gases.

Se realizó el perfil de velocidades axiales en el eje de simetría para medir el comportamiento del arco de cada uno de los plasmas, Ar (color azul), CO₂ (color naranja) y He (color gris), **Figura 29**. De esta forma se tiene una visión más clara de las diferencias entre ellos de forma más puntual.

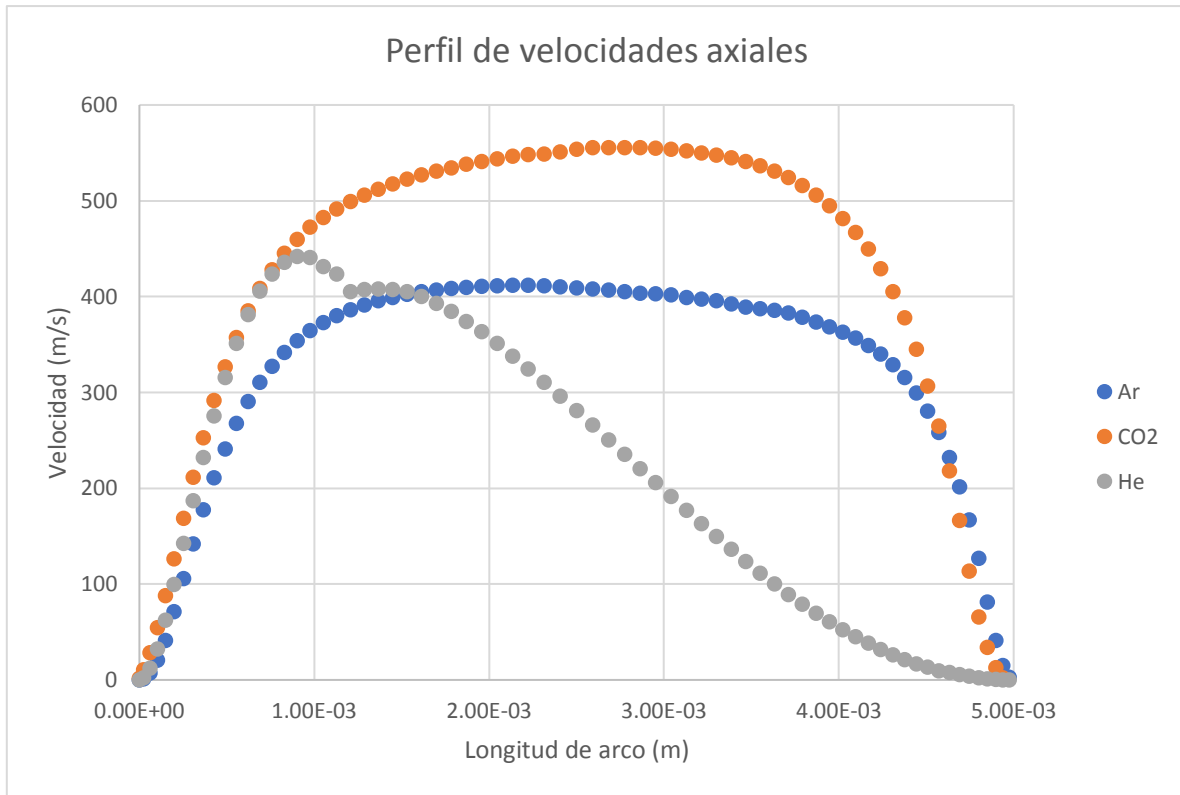


Figura 29. Perfil de velocidades en el eje de simetría. Ar(azul), CO₂(naranja), y He (gris)

Como se había visto en los mapas de velocidades se tiene una velocidad axial de 0 m/s tanto en la superficie catódica como en la superficie anódica para los 3 gases. El He es el primero que alcanza su velocidad máxima de 442 m/s a una distancia desde el cátodo de 9.04E-4 m, posteriormente el Ar con una velocidad máxima de 411.7 m/s a una distancia desde el cátodo de 2.14E-3 m, y por último el CO₂ con una velocidad máxima de 555.7 m/s a una distancia desde el cátodo de 2.86E-3 m. A simple vista es notable que el jet de CO₂ es el más intenso de los 3 al tener velocidades mayores que los otros dos jets, lo que puede producir defectos en la soldadura al presentar salpicaduras del charco de soldadura. Sin embargo, esto es meramente al analizar el perfil de velocidades, al observar nuevamente los valores de presión obtenidos el Ar presenta una presión mayor que la del CO₂, lo que da como resultado que la presión que ejerce el Ar no se debe solamente a las velocidades que presenta en el eje de simetría, más bien que el jet del Ar presenta velocidades parecidas al perfil en mayor ancho de su jet que el jet del CO₂ y por ende la presión ejercida aumenta. Por lo que la penetración del jet del CO₂ será

mayor y más puntual que en el caso de los otros 2 gases. El jet de Ar presenta una penetración moderada al tener velocidades intermedias en comparación a los otros 2 gases y un jet más uniforme. El jet del He al tener velocidades tan pequeñas cuando llega a la superficie anódica, por la pérdida de intensidad de corriente, producirá un charco de soldadura más superficial al no penetrar tanto en el ánodo, además que es el jet más ancho de los 3 casos lo que afectará de diferente forma al ánodo.

Otro de los comportamientos importantes de los plasmas es su distribución de temperatura que se tiene en toda la región de estudio. Por lo que en las **Figuras 30**, **31** y **32** se presenta el mapa de temperatura de Ar, CO₂ y He.

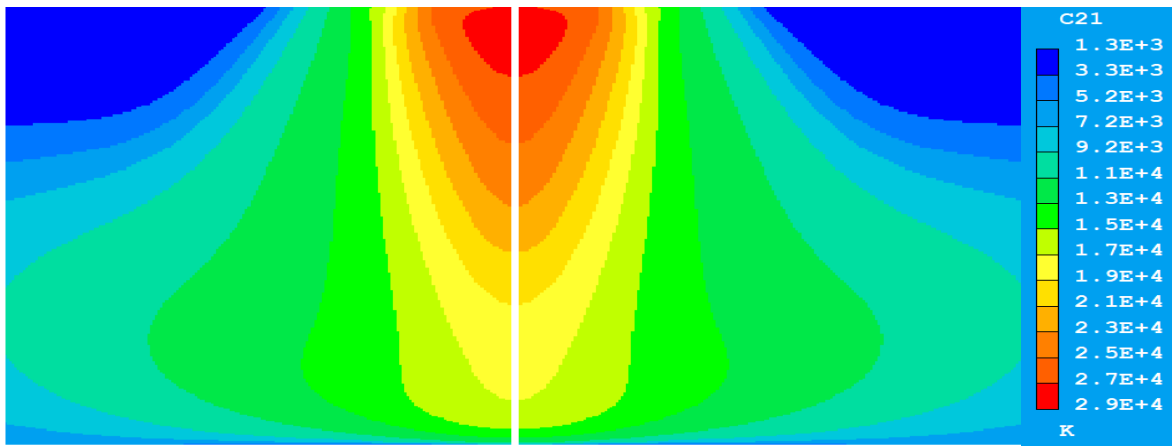


Figura 30. Mapa de temperaturas en la soldadura GTAW, caso Ar

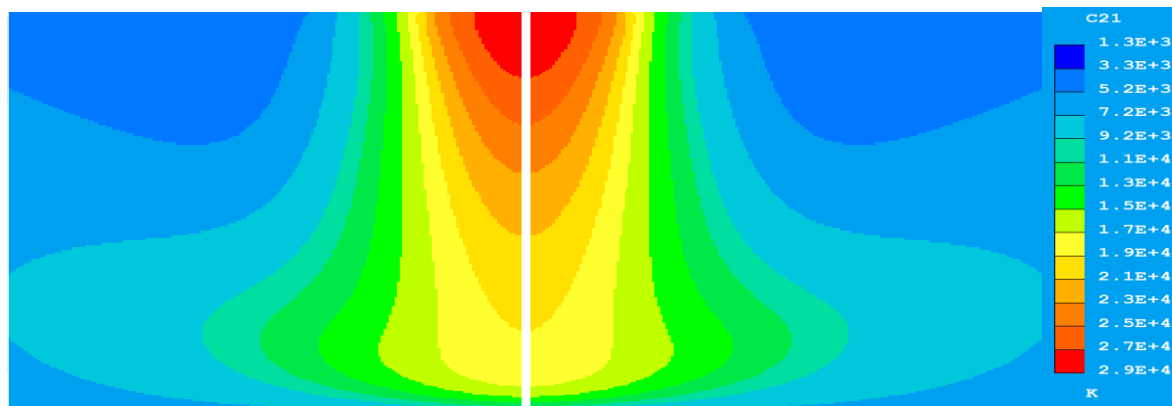


Figura 31. Mapa de temperaturas en la soldadura GTAW, caso CO₂

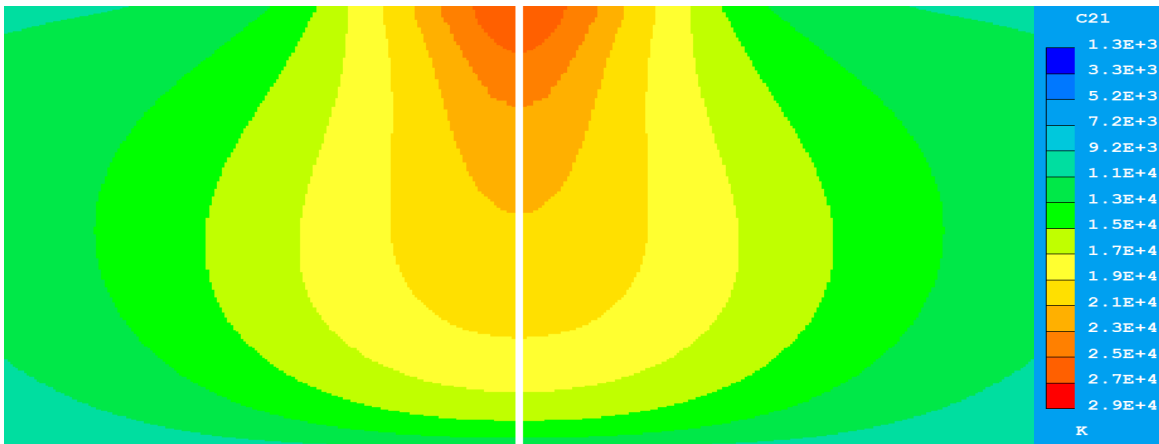


Figura 32. Mapa de temperaturas en la soldadura GTAW, caso He

En todos los casos la temperatura máxima es alcanzada cerca del cátodo, y conforme se acercan al ánodo su temperatura disminuye. Las temperaturas máximas son alcanzadas a poca distancia del cátodo, esto debido a que hay en esa zona máximas densidades de corriente que libera mucha energía por Efecto Joule calienta al gas. El hecho de que este más caliente el plasma cerca del cátodo que del ánodo es porque las densidades de corriente son más altas en el cátodo que en el ánodo como se observaron en las **Figuras 19, 20 y 21** relacionadas con los vectores de intensidad de corriente. Esto habla del crecimiento de la zona de conducción de corriente en los arcos. Inician con un pequeño spot en el cátodo y va creciendo el área de conducción y por continuidad de carga lógicamente disminuye la densidad de corriente y eso explica porque conforme aumenta la distancia axial desde el cátodo, disminuye la temperatura. Finalmente, la forma alargada de las isotermas hacia abajo en el eje de simetría y hacia los lados cerca del ánodo, se deben a la convección de calor que sigue la trayectoria del jet de plasma y que da la forma de campana de luz visible características de los arcos eléctricos de soldadura.

La soldadura GTAW necesita que se tenga una diferencia de potencial eléctrico para que se caliente el gas por Efecto Joule, presentando los mapas de diferencia de potencial eléctrico, **Figuras 33, 34 y 35**, es posible obtener los valores que utiliza cada uno de los casos.

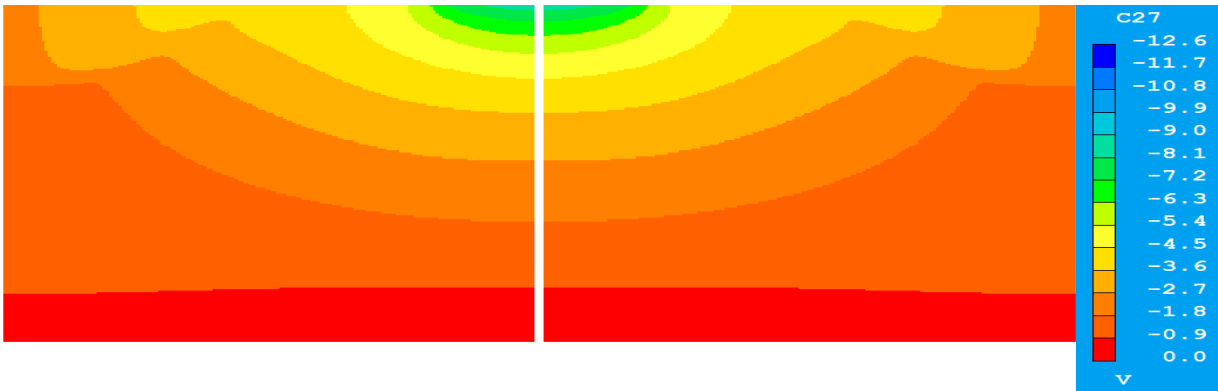


Figura 33. Mapa de diferencia de potencial eléctrico en la soldadura GTAW, caso Ar

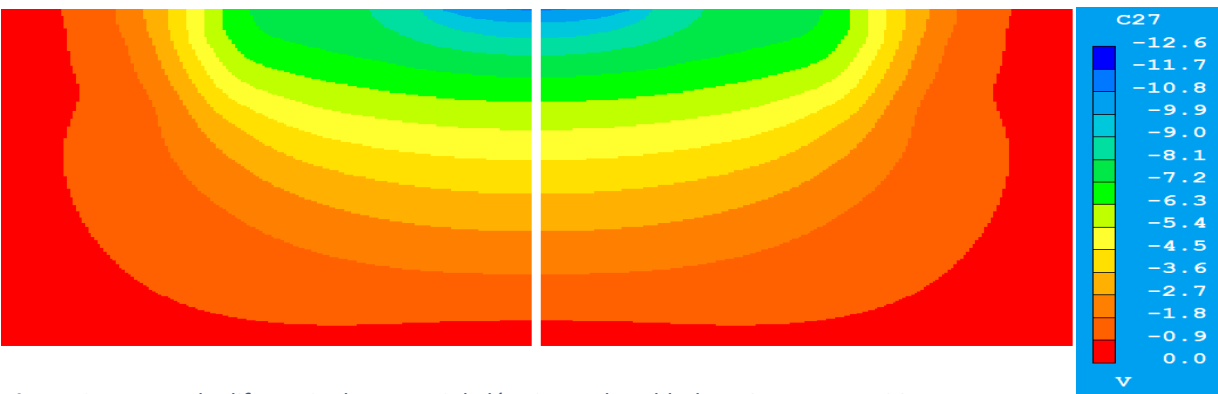


Figura 34. Mapa de diferencia de potencial eléctrico en la soldadura GTAW, caso CO₂

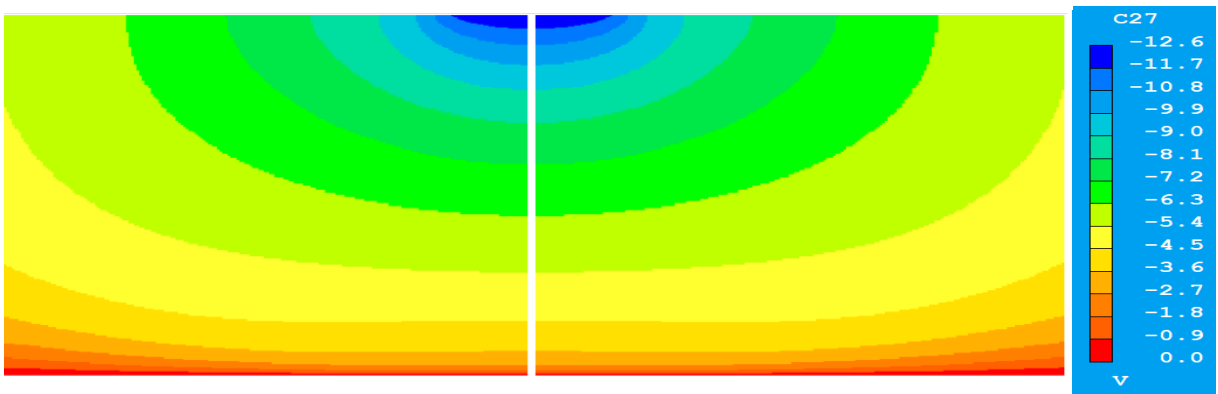


Figura 35. Mapa de diferencia de potencial eléctrico en la soldadura GTAW, caso

Por consiguiente, los valores obtenidos de diferencia de potencial eléctrico son los siguientes, Ar 8.5 V, CO₂ 10.9 V y He 12.6 V. Los valores obtenidos hablan de la cantidad de energía eléctrica que se debe de tener en el cátodo para que caliente al gas por transmisión termiónica hasta que este alcance su temperatura de

ionización. Entre más alta sea la temperatura de ionización del gas, más alto es la diferencia de potencial necesaria. Esto aplica a gases monoatómicos, ya que en el caso del CO_2 que presenta una disociación el gasto energético se maneja de forma diferente. Por lo que, aunque presenta su ionización a 7500 K a comparación de los 15000 K del Ar, el CO_2 maneja una diferencia de potencial mayor que la del Ar.

Ahora bien, si se tiene una disminución de densidad de corriente axial, el proceso de arco eléctrico es un proceso puntual. Dependiendo de la superficie del cátodo que transmita densidad de corriente, "spot" será la superficie de la placa que fungirá como ánodo. Por esto, se realizó el perfil de densidades de corrientes que se tiene en la superficie del ánodo para el Ar (color azul), CO_2 (color naranja) y He (color gris), **Figura 36**.

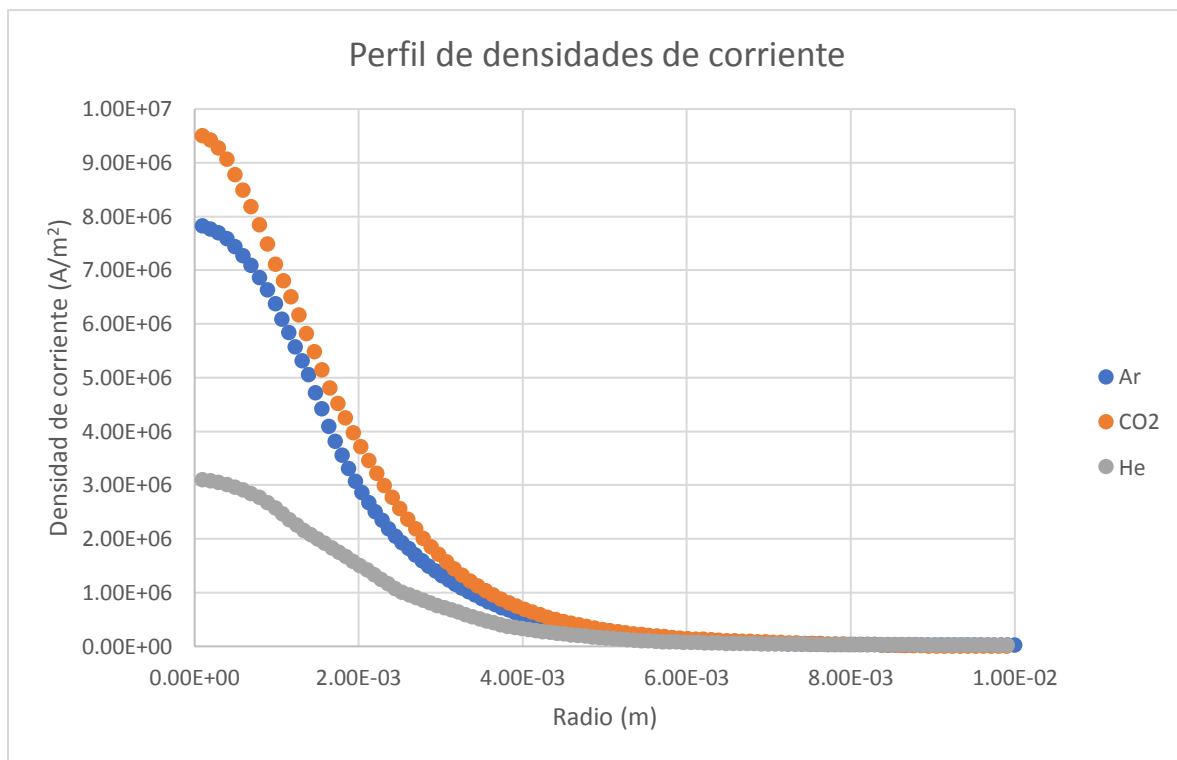


Figura 36. Perfil de densidades de corriente en la superficie del ánodo. Ar(azul), CO_2 (naranja), y He (gris)

Como es un proceso puntual la mayor densidad que se tiene es en el eje de simetría y conforme se aleja del eje disminuye la densidad de corriente ya que no toda la superficie de la placa funge como ánodo. Prácticamente a partir de 4 mm de radio, toda la densidad de corriente disminuye muy lentamente, lo que denota que el arco eléctrico se expande hasta 4 mm de radio, siendo que el “spot” tiene un radio aproximado de 1 mm, por lo que el arco se expandirá 4 veces. A continuación, se presenta el perfil de temperaturas del plasma en el eje de simetría de cada uno de los casos, Ar (color azul), CO₂ (color naranja) y He (color gris), **Figura 37**.

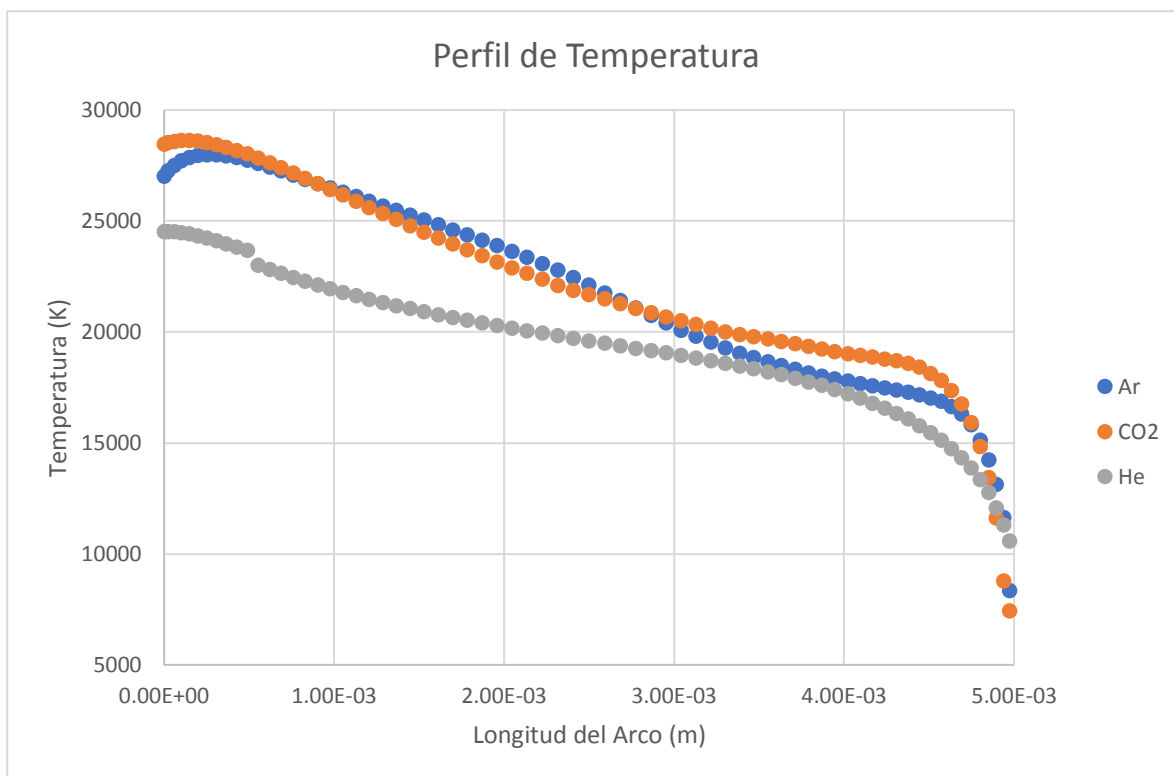


Figura 37. Perfil de temperaturas en el eje de simetría. Ar(azul), CO₂(naranja), y He (gris)

Se tiene su valor máximo de temperatura cerca de la superficie catódica. Siendo el CO₂ el más caliente con una temperatura de 28618.5 K a una distancia desde el cátodo de 1.49E-4 m, el Ar con una temperatura de 27972.03 K a una distancia desde el cátodo de 2.52E-4 m y el He siendo el plasma de menor temperatura con 24508.75 K a una distancia desde el cátodo de 2.46E-5 m. Conforme se recorre el

arco de soldadura, la temperatura del plasma disminuye, debido a que la resistencia que pone el gas al paso de corriente es mínima a la temperatura alcanzadas por cada uno de ellos, el gas ya no se calienta por el efecto Joule; además perdidas de calor por mecanismo de transferencia de energía de radiación y convección. El plasma al acercarse a la placa, a una distancia de 0.5 mm de la placa, disminuye su temperatura drásticamente ya que comienza el aporte de calor del plasma a la placa. De esta forma el plasma al tocar la placa presenta su temperatura mínima, siendo para el Ar de 8338.76 K, el CO₂ de 7422.62 K y el He de 10555.27 K. Por lo tanto, se puede asumir que el CO₂ será el que más calor aportará a la placa en el eje de simetría. Las aportaciones de calor del plasma a la placa se dan por 4 mecanismos: convección, condensación de electrones o mejor conocido como work function, efecto Thompson y radiación. A continuación, en la **Figura 38, 39 y 40** se muestra las aportaciones de calor de cada uno de los mecanismos para cada uno de los gases en función del radio de la placa, convección (azul marino), work function (naranja), Efecto Thompson (gris), radiación (gris) y el calor total del sistema (azul cielo); la diferencia entre los gases será el formato de línea presentado, Ar (línea continua), CO₂ (puntos), He (rectángulos).

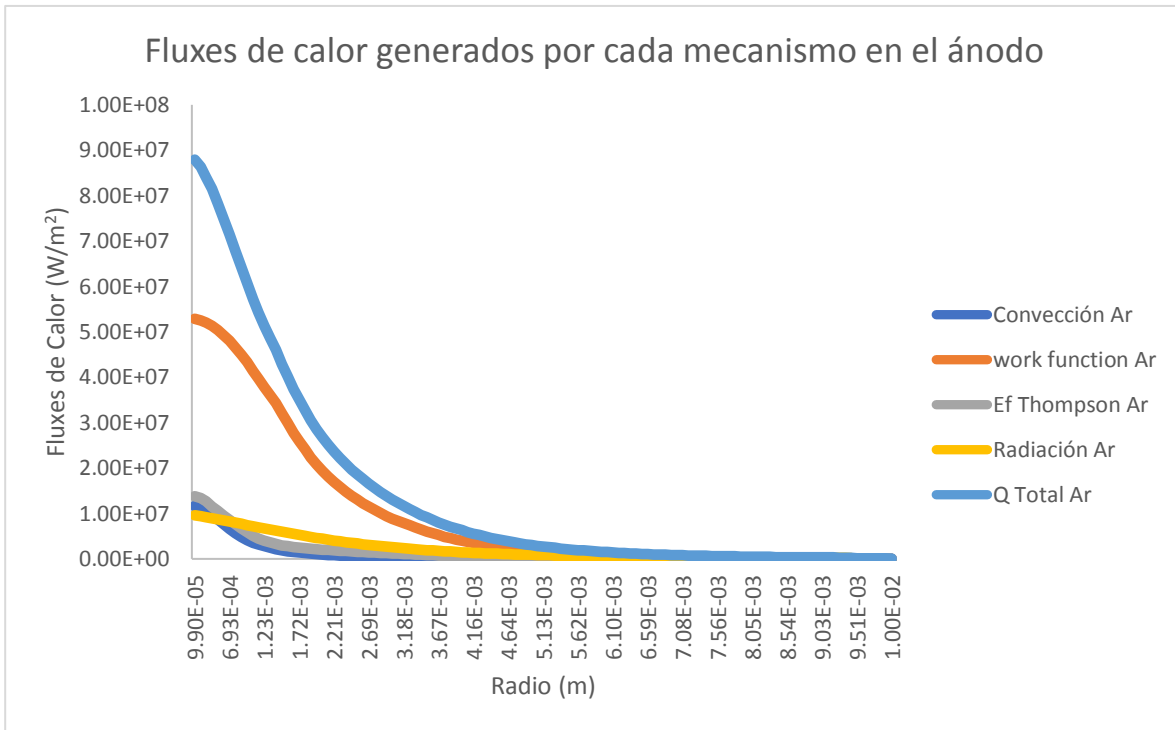


Figura 38. Perfil de fluxes de calor en la superficie del ánodo para la Soldadura GTAW, caso Ar. Convección (azul marino), work function (naranja), Efecto Thompson (gris), Radiación (amarillo) y el calor total del sistema (azul cielo)

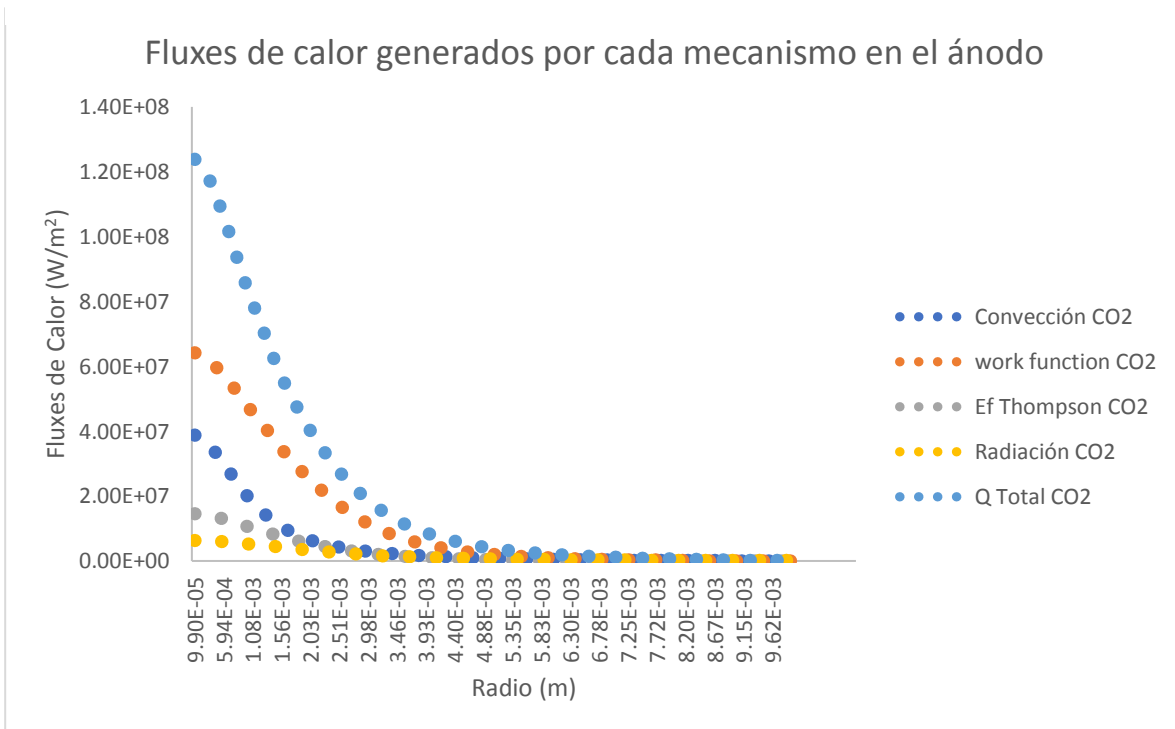


Figura 39. Perfil de fluxes de calor en la superficie del ánodo para la Soldadura GTAW, caso CO₂. Convección (azul marino), work function (naranja), Efecto Thompson (gris), Radiación (amarillo) y el calor total del sistema (azul cielo)

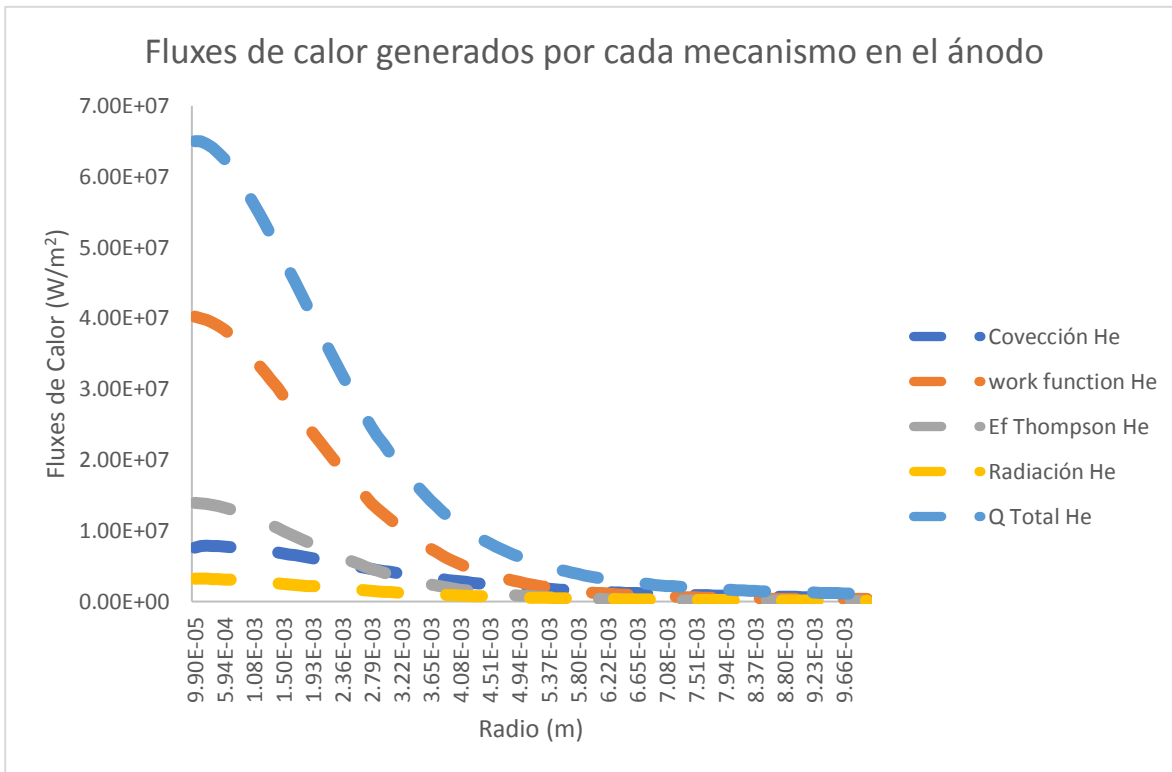


Figura 40. Perfil de fluxes de calor en la superficie del ánodo para la Soldadura GTAW, caso He. Convección (azul marino), work function (naranja), Efecto Thompson (gris), Radiación (amarillo) y el calor total del sistema (azul cielo)

El mecanismo por el cual aporta más cantidad de energía cada uno de los plasmas al ánodo es por el work function o condensación de electrones. Este mecanismo depende directamente de la densidad de corriente que se tenga en el ánodo, haciendo referencia a los valores de la **Figura 36**, ya que consiste en la liberación de energía por el paso de los electrones del plasma al ánodo. Ya que este mecanismo depende de la densidad de corriente, el CO₂ presentará el mayor flux aportado hasta que la densidad de corriente disminuya completamente llegando a valores de flux de calor de 1.22E+8 W/m². En el segundo lugar de mecanismos en el centro del ánodo están el efecto Thompson para Ar y He y convección para el CO₂, mientras que en ese mismo centro la radiación es el menor mecanismo de transferencia en todos los arcos para todos los gases. Ahora bien, aunque el CO₂ presenta los mayores fluxes de calor total aportados a la placa sobre el eje de simetría, no necesariamente es el gas que le aporta más calor a la totalidad del ánodo. Para esto es necesario tomar en cuenta un factor de área que se logra por

medio de la integración de la curva de los fluxes de calor total de cada uno de los plasmas, en la **Figura 41** se muestra un perfil acumulativo del calor aportado por el Ar (azul), CO₂ (naranja) y He (gris) al ánodo en función de su radio.

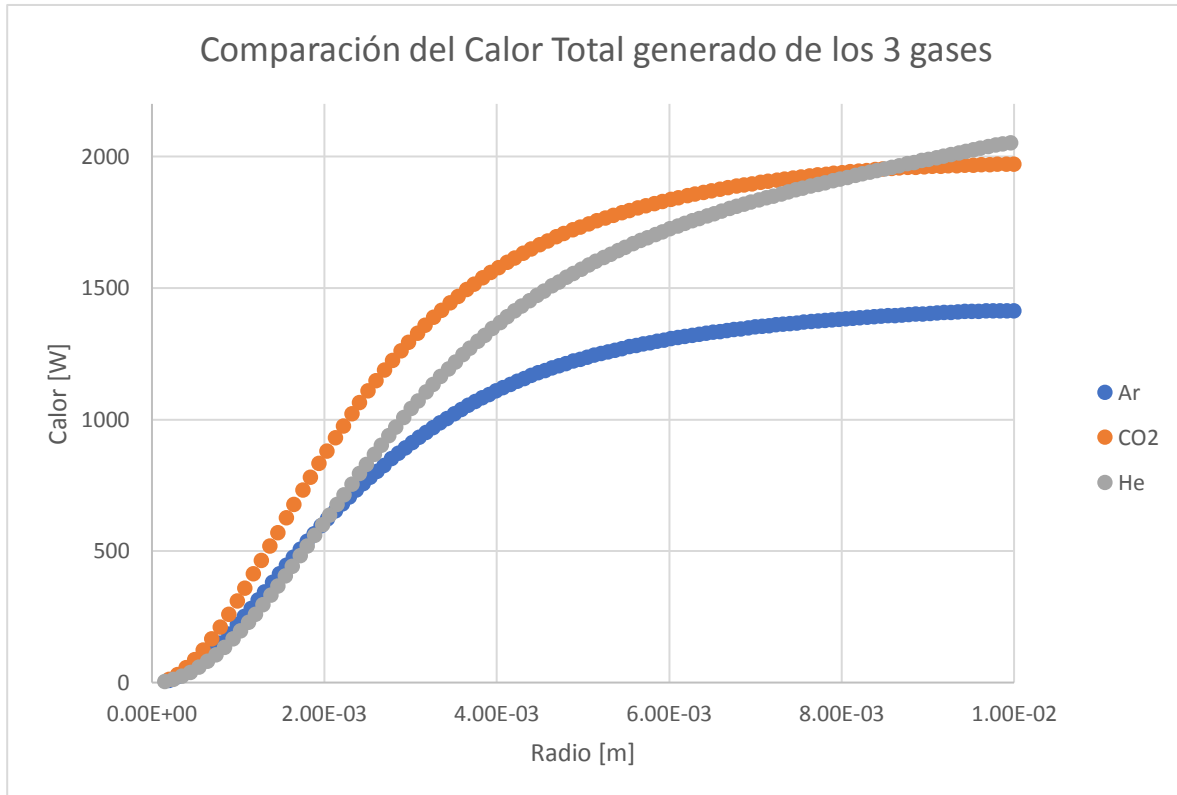


Figura 41. Perfil acumulativo del Calor Total Aportado por el plasma a la superficie del ánodo. Ar(azul), CO₂(naranja), y He (gris)

El plasma formado a partir del CO₂ si presenta la mayor transferencia de calor en prácticamente todo el ánodo, pero esto se debe a la gran cantidad de calor transferido al ánodo que sucede hasta los 4 mm de radio. Recordando que el CO₂ es el jet más puntual de los 3 y el más intenso provoca que su transferencia de calor sea más puntual y de mayor intensidad que en el caso de los otros dos, por ende, presenta valores de calor máximos cercanos al eje de simetría y valores mayores hasta los 2 mm de radio. Si se toma en cuenta la dispersión del jet, el Ar se encuentra en medio de los 3 casos. Debido a que su forma gaussiana es más amplia que la del CO₂, su transferencia de calor abarca un área más amplia del ánodo, dando una transferencia hasta de 5 mm de radio. Además, el Ar al presentar un jet no tan intenso, menos caliente y una intensidad de corriente en el ánodo menor que

el del CO₂ la cantidad de calor aporta al ánodo será mucho menor que la del CO₂. Por último, el caso del He es el que presenta menores valores de calor aportado en el eje de simetría, pero es el que más calor aporta a toda la placa. Si nos fijamos en la **Figura 37** es el jet que llega más caliente al ánodo, y siendo el jet más disperso de los 3 su mecanismo de convección se mantiene alto en comparación de los otros 4 mecanismos a radios mayores de 6 mm. Por lo que el He sigue aportando calor a radios mayores de 6 mm, sin importar que el mecanismo por el que lo transmite no sea ya condensación electrónica. Por otra parte, otro de los defectos encontrados en la soldadura de aceros es la generación de una zona afectada por el calor (ZAC) el cual se refiere a la zona continúa a la zona de fusión de la soldadura que alcanza temperaturas altas, pero no suficientes para fundirse y por ende lleva al acero a su fase austenítica y dependiendo de la velocidad de enfriamiento la microestructura final no podría ser controlada. En la soldadura controlar la ZAC es uno de los grandes inconvenientes por ser causa de fragilización en la pieza, por lo que menor sea la extensión de esta sería lo mejor para la soldadura. Para poder realizar una comparación de los 3 gases a continuación se presenta en la **Tabla 3**, los valores de temperatura máxima, velocidad máxima, voltaje, calor máximo y calor total. Siendo el calor máximo el valor más alto de calor aportado, ubicado usualmente cercano al eje de simetría, exceptuando al He.

Tabla 3. Comparación de gases de cobertura

Gas	Temperatura Máx. (K)	Velocidad Máx. (m/s)	Potencial Eléctrico (V)	Q Total [W]
Ar	27972.03	411.7783	8.5	1413.271
CO ₂	28618.49	555.6516	10.9	1970.946
He	24508.75	441.8966	12.6	2051.915

Como se observa en la **Tabla 3**, el CO₂ presenta el jet más intenso y más caliente de los 3 gases de cobertura, además de aportar una gran cantidad de calor a la placa. Siendo que la propiedad más importante que rige el comportamiento de los gases es el calor específico, el CO₂ presenta un mayor calor específico que el Ar,

pero menor al He, aun así, el CO₂ es el que presenta los valores más altos. Esto es porque el calor específico del He es menor que la del CO₂ hasta que alcanza su temperatura de ionización a los 22,000 K aproximadamente; en otras palabras, el CO₂ es capaz de calentarse más fácilmente cuando se encuentra por arriba de los 7,500 K de temperatura a comparación del He que necesita alcanzar los 22,000K, lo que da como consecuencia un suministro mayor de energía, en forma de potencial eléctrico, para el He que para los otros 2 gases. Los valores altos de velocidad que alcanza el jet de CO₂ son explicados a que esta especie presenta los valores de viscosidad menores de los 3 gases, lo que permite que se mueva con mayor facilidad que las otras dos. Pero la viscosidad no es la única propiedad que rige la velocidad del jet. Al ser una propiedad dependiente de la masa, la densidad de los gases de cobertura tiene un gran impacto en la velocidad. Esto explicaría el por qué el Ar presenta un jet menos intenso que el He, aunque tenga una menor viscosidad que este. Esto se debe a que el He es el gas menos denso de los tres con valores muy cercanos a 0 a bajas temperaturas. Por último, el jet de Ar presenta el menor calor aportado a la placa y el que menor potencial eléctrico. Por lo que el Ar es el que menos energía necesita para ionizarse y alcanza temperaturas altas, pero su baja velocidad mejora la formación gaussiana del arco lo que produce una menor cantidad de calor que entra al ánodo. Estas dos características favorecen a la soldadura GTAW, al disminuir el riesgo de salpicaduras en el charco de la soldadura y una ZAC relativamente pequeña y con velocidades de enfriamiento relativamente altas, por lo que el uso del Ar como gas de cobertura a estas condiciones sería lo óptimo. Cabe mencionar que cada uno de los gases utilizados tiene una diferente aplicación en la soldadura GTAW, y el trabajo realizado solo mide su comportamiento magneto hidrodinámico a una intensidad de corriente de 200 A y a una longitud del arco de 5 mm, no se mide el efecto de la naturaleza del gas y cómo reacciona éste a altas temperaturas con el charco de soldadura.

4. Conclusiones

Las propiedades de los gases de cobertura afectan el comportamiento del arco en la soldadura GTAW, siendo la más importante el calor específico, en donde se puede concluir que:

- El gas de CO₂ como gas de cobertura produce el jet más puntual, más intenso y más caliente en el arco.
- El gas de He como gas de cobertura produce un jet muy disperso, de intensidad relativamente baja y menos caliente.
- El gas de Ar como gas de cobertura produce un jet caliente, pero de menor intensidad.

La temperatura más alta del arco de soldadura 28,618.49 K es alcanzada utilizando el gas de CO₂ como gas de cobertura. A comparación de los otros gases que llegan a un 97.74% el Ar y 85.64% el He de la temperatura del CO₂

La velocidad máxima más alta del jet 555.65m/s es alcanzada utilizando el gas de CO₂ como gas de cobertura. A comparación de los otros gases que llegan a un 79.53% el He y 74.11% el Ar de la velocidad del CO₂. Debido a que es el gas que se somete a las más altas fuerzas electromagnéticas.

El gas que necesita un mayor nivel energético para la formación del arco eléctrico es el de He, necesitando 12.6 V de potencial eléctrico a comparación del CO₂ que necesita un 86.51% y el Ar que necesita un 67.46% de potencial eléctrico del He. Debido a la alta temperatura de ionización del gas de He a comparación de los otros 2 gases.

La aportación más grande de calor a todo el ánodo es de 2051.915 W lograda con el uso del gas de He. Seguido por un 96.06% del calor por el CO₂ y un 68.88% del calor que aporta el Ar a comparación del He. Debido a que el He es el jet más disperso de los 3 y el que más caliente llega a la superficie del ánodo.

La aportación más grande de calor en el eje de simetría es a partir de un flux de calor de $1.22E+8 \text{ W/m}^2$ logrado con el uso del gas de CO_2 . Seguido por un 70.74% del calor por el Ar y un 52.95% del calor por el He. Esto se debe a que el CO_2 es el jet más puntual y más caliente de los 3.

Para evitar la presencia de los defectos más comunes en la soldadura GTAW, como salpicaduras de metal fundido y una ZAC muy amplia, es recomendable el uso de Ar como gas de cobertura.

5. Bibliografía

- 1) R.K Rajput. **A Textbook of Manufacturing Technology: Manufacturing Processes.** LAXMI Publications. Boston, USA. (2007)
- 2) AWS, American Welding Society; **Welding Handbook** V. 1 8 ed.; TS227; W454
- 3) ASM Handbook; **Welding Brazing and Soldering**; TT211 W45, V6.
- 4) Maecker, H. **Plasmaströmungen in Lichtbögen infolge eigenmagnetischer Kompression.** Springer-Verlag. Germany. (1955)
- 5) S. Ramakrishnan, A.D. Stokes and J.J. Lowke. **An approximate model for high-current free-burning arcs.** J. Phys. (1978)
- 6) J. Lowke. **A Unified Theory of Arcs and their Electrodes.** Journal de Physique IV Colloque. (1997)
- 7) C. J. Allum. **Gas flow in the column of a TIG welding arc.** Cranfield Institute of Technology. (1980). UK
- 8) M. Ushio. **Mathematical Modeling of Three-Dimensional Heat and fluid Flow un a Moving Gas Metal Arc Weld Pool.** (1997)
- 9) M. Ramírez. **Mathematical Modeling of a DC Electric Arc-Dimensionless Representation of a DC Arc.** ISIJ International, Vol.43 (2003), No.8
- 10) M. Tanaka. **Numerical study of gas tungsten arc plasma with anode melting.** Joining and Welding Research Institute, Osaka University. (2004)
- 11) A. B. Murphy, M. Tanaka. **Modelling of thermal plasmas for arc welding: the role of the shielding gas properties and of metal vapour.** Journal of Physics. UK. (2009)

- 12) Ushio, J. Szekely, and C.W. Chang, **Mathematical Modeling of flow field and heat transfer in high-current arc discharge**. Ironmaking and Steelmaking, 1983. 10(4): p. 169-179
- 13) M.I. Boulos, P. Fauchaus, E. Pfender; **Thermal Plasmas Fundamentals and Applications**, Vol 1, Plenum Press 1994
- 14) Ramírez, Marco. (2000). **Mathematical Modeling of D.C. Electric Arc Furnance Operations** (tesis de doctorado). Massachusetts Institute of Technology, USA.
- 15) A. B. Murphy. Comunicación personal. 2017
- 16) Betancourt, Bárbara. (2006). **Modelación Matemática de la Soldadura con Arco TIG expuesta en Diferentes Atmósferas** (tesis de licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México, México.

6. Apéndices

• Anexo 1. Archivo Q1

TALK=f;RUN(1,1)

GROUP 1. Run title and other preliminaries

TEXT(electrical potential approach

BOOLEAN(RESTT)

RG(50)=0.005

RG(9)=200

RG(8)=(RG(9)/(6.5E7*3.1416))**.5

RG(10)=0.01

RESTT=t

NAMFI=phiy

PARAB=F

GROUP 2. Transience; time-step specification

STEADY=T

GROUP 3. X-direction grid specification

CARTES=F

XULAST=.01

GROUP 4. Y-direction grid specification

NREGY=2

IREGY=1;GRDPWR(Y,10,RG(8),1.)

IREGY=2;GRDPWR(Y,105,RG(10)-
RG(8),1.0)

GROUP 5. Z-direction grid specification

NREGZ=2

IREGZ=1;GRDPWR(Z,35,RG(50)/2.,1.3)

IREGZ=2;GRDPWR(Z,35,RG(50)/2.,-1.3)

GROUP 6. Body-fitted coordinates or grid distortion

GROUP 7. Variables stored, solved & named

SOLVE(C27)

SOLUTN(C27,Y,Y,Y,N,N,y)

SOLVE(P1)

SOLUTN(P1,Y,Y,Y,N,N,N)

SOLVE(V1)

SOLUTN(V1,Y,Y,n,n,N,y)

SOLVE(W1)

SOLUTN(W1,Y,Y,n,n,N,y)

SOLVE(H1)

SOLUTN(H1,Y,Y,Y,N,N,y)

STORE(C3,C31,C33,C11)

STORE(C5,C2,C4,C6,C8)

STORE(C7,C10,C12,C14)

STORE(C9,C13,C15,C17,C19,RHO1,EN
UL,C21,C23,C21,C25,ENUT,LEN1)

GROUP 8. Terms (in differential equations) & devices

TERMS (C27,Y,N,Y,N,Y,N)

TERMS (H1,N,Y,Y,N,Y,N)

ISOLZ=-100;ISOLY=-100

GROUP 9. Properties of the medium (or media)

PRNDTL(C27)=GRND;ENUL=GRND;RH
O1=GRND;PRNDTL(H1)=GRND

GROUP 10. Inter-phase-transfer processes and properties

GROUP 11. Initialization of variable or porosity fields

IF(RESTT) THEN

FIINIT(C27)=READFI

FIINIT(P1)=READFI

FIINIT(W1)=READFI

```

FIINIT(V1)=READFI
FIINIT(H1)=READFI
FIINIT(C11)=READFI
FIINIT(C13)=READFI
FIINIT(C15)=READFI
FIINIT(C9)=READFI
FIINIT(C7)=READFI
ELSE
FIINIT(P1)=0.0
FIINIT(W1)=0.0
FIINIT(V1)=0.0
FIINIT(H1)=5.2E+05
ENDIF
GROUP 12. Patchwise adjustment of
terms (in differential equations)
GROUP 13. Boundary conditions and
special sources

wall(ZETAMAXI,low,1,NX,1,NY,1,1,1,LST
EP)

patch(RADMAXI,NORTH,1,NX,NY,NY,1,
NZ,1,LSTEP)
COVAL(RADMAXI,P1,FIXVAL,0.0)
COVAL(RADMAXI,H1,fixflu,0.0)

PATCH(ZETMX,low,1,NX,1,NY,1,1,1,LST
EP)
COVAL(ZETMX,C27,GRND,0.0)
COVAL(ZETMX,H1,FIXFLU,GRND9)

PATCH(ZETACER1,high,1,NX,1,10,nz,nz
,1,LSTEP)
COVAL(ZETACER1,C27,FIXFLU,-
6.5E+07)

PATCH(LTOP,HIGH,1,NX,21,NY,NZ,NZ,
1,LSTEP)
COVAL(LTOP,P1,FIXVAL,0.0)
COVAL(LTOP,H1,fixflu,0.0)

WALL(ZETACW,HIGH,1,NX,1,20,NZ,NZ,
1,LSTEP)
COVAL(ZETACW,H1,GRND3,7.E+06)

PATCH(ZETAC,HIGH,1,NX,1,20,NZ,NZ,1
,LSTEP)
COVAL(ZETAC,H1,GRND3,7.E+06)

PATCH(SOURCE1,CELL,1,NX,1,NY,1,N
Z,1,LSTEP)
COVAL(SOURCE1,V1,FIXFLU,GRND)
COVAL(SOURCE1,W1,FIXFLU,GRND1)

PATCH(SOURCE2,VOLUME,1,NX,1,NY,
1,NZ,1,LSTEP)
COVAL(SOURCE2,H1,FIXFLU,GRND2)

PATCH(SOURCE3,VOLUME,1,NX,1,NY,
1,NZ,1,LSTEP)
COVAL(SOURCE3,H1,FIXFLU,GRND3)

PATCH(SOURCE4,VOLUME,1,NX,1,NY,
1,nz,1,LSTEP)
COVAL(SOURCE4,H1,FIXFLU,GRND4)

GROUP 14. Downstream pressure for
PARAB=.TRUE.
GROUP 15. Termination of sweeps
SELREF=t
RESFAC=.001

```

```

LSWEEP=2000
LITHYD=10000
LITER(C27)=100
LITER(H1)=100
    GROUP 16. Termination of iterations
    GROUP 17. Under-relaxation devices
RELAX(C27,LINRLX,0.0000001)
RELAX(P1,LINRLX,0.0001)
RELAX(H1,LINRLX,0.0000001)
RELAX(V1,FALSDT,0.0000001)
RELAX(W1,FALSDT,0.0000001)
    GROUP 18. Limits on variables or
increments to them
VARMIN(H1)=5.2E5
VARMAX(H1)=8.80E8
VARMIN(W1)=-5.2E4
VARMAX(W1)=5.2E4
VARMIN(V1)=-5.2E4
VARMAX(V1)=5.2E4

    GROUP 19. Data communicated by
satellite to GROUND
USEGRD=T
    ISWC1=100
    GROUP 20. Preliminary print-out
    GROUP 21. Print-out of variables
    GROUP 22. Spot-value print-out
YMON=1
IZMON=8
TSTSWP=-1
    GROUP 23. Field print-out and plot
control
NYPRIN=1
NZPRIN=1
NSAVE=phi
    GROUP 24. Dumps for restarts
NOCOPY=T;NOCOMM=T
NODEF=T
STOP

```

- **Anexo 2. Archivo Ground.for, Ar**

```

C.... FILE NAME GROUND.FTN-----
-----240802
    SUBROUTINE GROUND
    include 'farray'
    INCLUDE 'satear'
    INCLUDE 'grdloc'
    INCLUDE 'satgrd'
    INCLUDE 'grdear'
    INCLUDE 'grdbfc'

COMMON/GENI/NXNY,IGFIL(8),NFM,I
GF(21),IPRL,IBTAU,ILTLS,IGFIL(15),

    1
ITEM1,ITEM2,ISPH1,ISPH2,ICON1,ICON
2,IPRPS,IRADX,IRADY,IRADZ,IVFOL

COMMON/DRHODP/ITEMP,IDEN/DVMO
D/IDVCGR

COMMON/HBASE/IH01,IH02,KH01,KH0
1H,KH01L,KH02,KH02H,KH02L,L0H012
CXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
XXXXXXXXXXXXX USER SECTION
STARTS:

C
C 1 Set dimensions of data-for-GROUND
arrays here. WARNING: the

```

C corresponding arrays in the MAIN program of the satellite

C and EARTH must have the same dimensions.

PARAMETER (NLG=100, NIG=200, NRG=200, NCG=100)

PARAMETER
(NYD=130,NXD=1,NZD=130,NTAB=63)

C

COMMON/LGRND/LG(NLG)/IGRND/IG(NIG)/RGRND/RG(NRG)/CGRND/CG(NCG)

LOGICAL LG

CHARACTER*4 CG

C

C 2 User dimensions own arrays here, for example:

C DIMENSION
GUH(10,10),GUC(10,10),GUX(10,10),GUZ(10)

DIMENSION
GC7(NYD,NXD),GC9(NYD,NXD),GJOULE(NYD,NXD),RCOS(NYD)

DIMENSION
GRHO(NYD,NXD),GRHOTAB(NTAB),GTT(NYD,NXD),GTTAB(NTAB)

DIMENSION
GEMUTAB(NTAB),GENU(NYD,NXD),GEMU(NYD,NXD),RA(NYD)

DIMENSION
GTHKTAB(NTAB),GTHK(NYD,NXD),GRADTAB(NTAB),GRAD(NYD,NXD)

DIMENSION
GSIGTAB(NTAB),GSIG(NYD,NXD),GCP(NYD,NXD),GCPTAB(NTAB)

DIMENSION
GBC(NYD,NXD),GBC1(NYD,NXD),GHH(NYD,NXD),GHTAB(NTAB)

DIMENSION
GV1(NYD,NXD),GC13(NYD,NXD),GC15(NYD,NXD),GPR(NYD,NXD)

DIMENSION
GC21(NYD,NXD),GC23(NYD,NXD),GC25(NYD,NXD),GBC3(NYD,NXD)

DIMENSION
GSIDTAB(NTAB),GSID(NYD,NXD),GBC2(NYD,NXD)

DIMENSION
GPRPOT(NYD,NXD),GC31(NYD,NXD)

DIMENSION
GC33(NYD,NXD),GTAU(NYD,NXD),GHTABR(63),GHHL(NYD,NXD)

DIMENSION
GC27(NYD,NXD),GPSI(NYD+1),GW1(NYD,NXD),GSUMA(NYD+1)

DIMENSION
GDZ2(NYD+1),GRIJ(NYD+1),GR2(NYD+1),GP1(NYD,NXD)

DIMENSION
GC19(NYD,NXD),GPRPOTC(NYD,NXD)

DIMENSION
GTEM(NYD,NXD),GPRPR(NYD,NXD),GBC5(NYD,NXD)

C

C 3 User places his data statements here, for example:

C DATA NXDIM,NYDIM/10,10/

DATA GRHOTAB
1 /1.62E+00, 1.62E+00, 9.74E-01,
4.87E-01, 3.25E-01, 2.43E-01,

1 1.95E-01, 1.62E-01, 1.39E-01,
1.22E-01, 1.08E-01, 9.74E-02,

1 8.85E-02, 8.11E-02, 7.49E-02,
6.95E-02, 6.49E-02, 6.08E-02,

1 5.71E-02, 5.37E-02, 5.06E-02,
4.77E-02, 4.48E-02, 4.20E-02,

1 3.91E-02, 3.62E-02, 3.33E-02,
3.04E-02, 2.75E-02, 2.49E-02,

1 2.25E-02, 2.05E-02, 1.88E-02,
 1.74E-02, 1.64E-02, 1.55E-02,
 1 1.48E-02, 1.42E-02, 1.36E-02,
 1.32E-02, 1.27E-02, 1.23E-02,
 1 1.19E-02, 1.16E-02, 1.12E-02,
 1.08E-02, 1.04E-02, 9.95E-03,
 1 9.52E-03, 9.09E-03, 8.66E-03,
 8.25E-03, 7.87E-03, 7.51E-03,
 1 7.18E-03, 6.88E-03, 6.62E-03,
 6.38E-03, 6.17E-03, 5.99E-03,
 1 5.82E-03, 5.66E-03, 5.66E-03/

C----- ENTHALPY

DATA GHTAB

T /9.64E+02, 9.64E+02, 1.05E+05,
 3.65E+05, 6.25E+05, 8.86E+05,
 T 1.15E+06, 1.41E+06, 1.67E+06,
 1.93E+06, 2.19E+06, 2.45E+06,
 T 2.71E+06, 2.97E+06, 3.23E+06,
 3.49E+06, 3.77E+06, 4.07E+06,
 T 4.41E+06, 4.81E+06, 5.31E+06,
 5.96E+06, 6.83E+06, 7.98E+06,
 T 9.52E+06, 1.15E+07, 1.41E+07,
 1.74E+07, 2.13E+07, 2.57E+07,
 T 3.05E+07, 3.53E+07, 3.98E+07,
 4.37E+07, 4.70E+07, 4.96E+07,
 T 5.17E+07, 5.35E+07, 5.49E+07,
 5.63E+07, 5.75E+07, 5.89E+07,
 T 6.03E+07, 6.21E+07, 6.42E+07,
 6.68E+07, 7.00E+07, 7.38E+07,
 T 7.83E+07, 8.34E+07, 8.90E+07,
 9.50E+07, 1.01E+08, 1.07E+08,
 T 1.13E+08, 1.19E+08, 1.24E+08,
 1.29E+08, 1.34E+08, 1.37E+08,
 T 1.41E+08, 1.44E+08, 1.44E+08/

C----- TEMPERATURE

DATA GTTAB

O /300.,
 300.,500.,1000.,1500.,2000.,2500.,3000.,
 3500.,
 O
 4000.,4500.,5000.,5500.,6000.,6500.,700
 0.,7500.,
 O
 8000.,8500.,9000.,9500.,10000.,10500.,1
 1000.,11500.,
 O
 12000.,12500.,13000.,13500.,14000.,145
 00.,15000.,
 O
 15500.,16000.,16500.,17000.,17500.,180
 00.,18500.,
 O
 19000.,19500.,20000.,20500.,21000.,215
 00.,22000.,
 O
 22500.,23000.,23500.,24000.,24500.,250
 00.,25500.,
 O
 26000.,26500.,27000.,27500.,28000.,285
 00.,29000.,
 O 29500.,30000.,30000./

C----- VISCOSITY

DATA GEMUTAB

2 /2.27E-05, 2.27E-05, 3.39E-05,
 5.52E-05, 7.28E-05, 8.77E-05,
 2 1.02E-04, 1.16E-04, 1.28E-04,
 1.41E-04, 1.53E-04, 1.65E-04,
 2 1.77E-04, 1.88E-04, 1.99E-04,
 2.10E-04, 2.21E-04, 2.31E-04,
 2 2.41E-04, 2.50E-04, 2.58E-04,
 2.64E-04, 2.65E-04, 2.60E-04,
 2 2.27E-04, 2.27E-04, 2.00E-04,
 1.69E-04, 1.38E-04, 1.10E-04,
 2 8.57E-05, 6.65E-05, 5.21E-05,
 4.17E-05, 3.44E-05, 2.95E-05,

2 2.63E-05, 2.43E-05, 2.30E-05,
2.23E-05, 2.19E-05, 2.16E-05,

2 2.14E-05, 2.11E-05, 2.06E-05,
1.99E-05, 1.89E-05, 1.77E-05,

2 1.63E-05, 1.49E-05, 1.34E-05,
1.21E-05, 1.08E-05, 9.76E-06,

2 8.83E-06, 8.06E-06, 7.41E-06,
6.89E-06, 6.48E-06, 6.14E-06,

2 5.88E-06, 5.68E-06, 5.68E-06/

C----- THERMAL
CONDUCTIVITY

DATA GTHKTAB

3 /0.0177, 0.0177, 0.0265, 0.0431,
0.0568, 0.0685, 0.0797,

3 0.0901, 0.1003, 0.1101, 0.1195,
0.1293, 0.1385, 0.1492,

3 0.1629, 0.1831, 0.2156, 0.2654,
0.3350, 0.4245, 0.5343,

3 0.6655, 0.8193, 0.9971, 1.1986,
1.6547, 1.8866, 2.0959,

3 2.2561, 2.3481, 2.3707, 2.3438,
2.2980, 2.2608, 2.2483,

3 2.2653, 2.3107, 2.3793, 2.4646,
2.5623, 2.6688, 2.7814,

3 2.8997, 3.0198, 3.1937, 3.2583,
3.3749, 3.4893, 3.6018,

3 3.7126, 3.8220, 3.9305, 4.0386,
4.1475, 4.2584, 4.3726,

3 4.4914, 4.6155, 4.5512, 4.7455,
4.8812, 5.0223, 5.0223/

C----- SPECIFIC HEAT

DATA GCPTAB

4 /5.20E+02, 5.20E+02, 5.20E+02,
5.20E+02, 5.20E+02, 5.20E+02,

4 5.20E+02, 5.20E+02, 5.20E+02,
5.20E+02, 5.20E+02, 5.22E+02,

4 5.19E+02, 5.20E+02, 5.27E+02,
5.42E+02, 5.73E+02, 6.30E+02,

4 7.28E+02, 8.86E+02, 1.13E+03,
1.48E+03, 1.97E+03, 2.63E+03,

4 3.49E+03, 4.54E+03, 5.77E+03,
7.08E+03, 8.33E+03, 9.26E+03,

4 9.63E+03, 9.31E+03, 8.41E+03,
7.16E+03, 5.86E+03, 4.71E+03,

4 3.80E+03, 3.15E+03, 2.74E+03,
2.55E+03, 2.56E+03, 2.76E+03,

4 3.18E+03, 3.81E+03, 4.66E+03,
5.72E+03, 6.95E+03, 8.27E+03,

4 9.57E+03, 1.07E+04, 1.16E+04,
1.22E+04, 1.24E+04, 1.22E+04,

4 1.17E+04, 1.09E+04, 1.01E+04,
9.15E+03, 8.29E+03, 7.55E+03,

4 6.96E+03, 6.55E+03, 6.55E+03/

C----- RADIATION-
CORRECTED FOR ABSORPTION

C----- (EVANS & TANKIN)

DATA GRADTAB

O /0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0,

O 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 7.0403,

O 18.774, 223.5054, 1933.9644,
11763.63, 55606.19,

O 215877.7, 761899., 2802928.9,
10220229.2,

O 38708191.4, 130438927.,
326976963., 687254809.,

O 1278879537., 2142566190.,
3343659893., 4871981887.,

O 6743617126., 8770070052.,
1.0618E+10, 1.211E+10,

O 1.304E+10, 1.3521E+10,
1.3773E+10, 1.3798E+10,

O 1.3692E+10, 1.3496E+10,
1.3244E+10, 1.3044E+10,

O 1.3014E+10, 1.3144E+10,
1.3469E+10, 1.4024E+10,

```

O 1.4869E+10, 1.6072E+10,
1.7774E+10, 2.0031E+10,

O 2.2978E+10, 2.6704E+10,
3.1293E+10, 3.692E+10,

O 4.3779E+10, 5.1949E+10,
6.1397E+10, 7.2257E+10,

O 8.4464E+10, 9.8294E+10,
1.1406E+11,

O 1.3195E+11, 1.5224E+11,
1.7518E+11, 1.7518E+11/

```

```

C-----ELECTRICAL
CONDUCTIVITY

```

```

DATA GSIGTAB

```

```

6 /1.61E-05, 1.61E-05, 2.29E-05,
3.21E-05, 2.40E-05, 1.41E-05,

6 9.68E-06, 1.66E-05, 1.22E-03,
0.030700, 0.374710, 2.745300,

6 13.599, 48.824, 134.53, 301.28,
570.72, 939.08, 1379.0, 1858.6,

6 2354.9, 2856.3, 3357.8, 3858.0,
4356.0, 4850.0, 5337.2, 5813.2,

6 6272.7, 6710.7, 7123.0, 7507.7,
7865.7, 8200.1, 8514.9, 8814.2,

6 9101.1, 9377.1, 9641.9, 9893.2,
10126., 10335., 10511., 10644.,

6 10726., 10755., 10731., 10665.,
10570., 10466., 10367., 10286.,

6 10230., 10205., 10240., 10296.,
10373., 10466., 10572., 10687.,

6 10753., 10806., 10806./

```

```

C 4 Insert own coding below as desired,
guided by GREX examples.

```

```

C Note that the satellite-to-GREX special
data in the labelled

```

```

C COMMONs /RSG/, /ISG/, /LSG/ and
/CSG/ can be included and

```

```

C used below but the user must check
GREX for any conflicting

```

```

C uses. The same comment applies to
the EARTH-spare working

```

```

C arrays EASP1, EASP2,...EASP20. In
addition to the EASPs,

```

```

C there are 10 GRound-earth SPare
arrays, GRSP1,...,GRSP10,

```

```

C supplied solely for the user, which are
not used by GREX. If

```

```

C the call to GREX has been deactivated
then all of the arrays

```

```

C may be used without reservation.

```

```

C

```

```

C*****
*****

```

```

c

```

```

IXL=IABS(IXL)

```

```

IF(IGR.EQ.13) GO TO 13

```

```

IF(IGR.EQ.19) GO TO 19

```

```

GO TO
(1,2,3,4,5,6,25,8,9,10,11,12,13,14,25,25,
25,25,19,20,25,

```

```

121,23,24),IGR

```

```

25 CONTINUE

```

```

RETURN

```

```

C*****
*****

```

```

C

```

```

C--- GROUP 1. Run title and other
preliminaries

```

```

C

```

```

1 GO TO (1001,1002,1003),ISC

```

```

C

```

```

1001 CONTINUE

```

OPEN(60,FILE='B.txt',STATUS='unknown')	open(73,file='W1Y0.txt',STATUS='unknown')
OPEN(61,FILE='JZ1.txt',STATUS='unknown')	open(74,file='TZMX.txt',STATUS='unknown')
OPEN(62,FILE='JZ2.txt',STATUS='unknown')	open(75,file='QZMX.txt',STATUS='unknown')
OPEN(63,FILE='JZ3.txt',STATUS='unknown')	open(76,file='JZ0.txt',STATUS='unknown')
OPEN(64,FILE='JR1.txt',STATUS='unknown')	open(77,file='JZZMX.txt',STATUS='unknown')
OPEN(65,FILE='JR2.txt',STATUS='unknown')	open(78,file='P1Y0.txt',STATUS='unknown')
OPEN(66,FILE='JR3.txt',STATUS='unknown')	open(79,file='P1ZMX.txt',STATUS='unknown')
OPEN(67,FILE='B1.txt',STATUS='unknown')	open(70,file='TAUZMX.txt',STATUS='unknown')
OPEN(68,FILE='B2.txt',STATUS='unknown')	open(81,file='B3.txt',STATUS='unknown')
open(69,FILE='RADHEAT.txt',STATUS='unknown')	open(82,file='B4.txt',STATUS='unknown')
open(80,FILE='temp.txt',STATUS='unknown')	open(83,file='B5.txt',STATUS='unknown')
open(71,FILE='TY0.txt',STATUS='unknown')	open(84,file='BY10.txt',STATUS='unknown')
open(72,FILE='Q.txt',STATUS='unknown')	C
	C * -----GROUP 1 SECTION 3 -----
	C---- Use this group to create storage via MAKE, GXMAKE etc which it is essential to dump to PHI (or PHIDA) for restarts

C User may here change message
transmitted to the VDU screen

IF(.NOT.NULLPR.AND.IDVCGR.EQ.0)

1 CALL WRYT40('GROUND file is
GROUND.F of: 230597')

CALL MAKE (ZGNZ)

CALL MAKE (ZWNZ)

CALL MAKE (DZGNZ)

CALL MAKE (DZWNZ)

CALL MAKE (RG2D)

CALL MAKE (YG2D)

CALL MAKE (RV2D)

CALL MAKE (DYG2D)

CALL MAKE (DYV2D)

CALL MAKE (VOL)

RETURN

C * -----GROUP 1 SECTION 3 -----

C--- Use this group to create storage via
GXMAKE which it is not

C necessary to dump to PHI (or PHIDA)
for restarts

C

1003 CONTINUE

GO TO 25

1002 CONTINUE

RETURN

C*****

C

C--- GROUP 2. Transience; time-step
specification

C

2 CONTINUE

RETURN

C*****

C

C--- GROUP 3. X-direction grid
specification

C

3 CONTINUE

RETURN

C*****

C

C--- GROUP 4. Y-direction grid
specification

C

4 CONTINUE

RETURN

C*****

C

C--- GROUP 5. Z-direction grid
specification

C

5 CONTINUE

RETURN

C*****

C

C--- GROUP 6. Body-fitted coordinates or
grid distortion

C

6 CONTINUE

RETURN

C*****

C * Make changes for this group only in group 19.

C--- GROUP 7. Variables stored, solved & named

C*****

C

C--- GROUP 8. Terms (in differential equations) & devices

C

8 GO TO
(81,82,83,84,85,86,87,88,89,810,811,812,813,814,815,816)

1,ISC

81 CONTINUE

C * ----- SECTION 1 -----

C For U1AD.LE.GRND--- phase 1 additional velocity. Index VELAD

RETURN

82 CONTINUE

C * ----- SECTION 2 -----

C For U2AD.LE.GRND--- phase 2 additional velocity. Index VELAD

RETURN

83 CONTINUE

C * ----- SECTION 3 -----

C For V1AD.LE.GRND--- phase 1 additional velocity. Index VELAD

RETURN

84 CONTINUE

C * ----- SECTION 4 -----

C For V2AD.LE.GRND--- phase 2 additional velocity. Index VELAD

RETURN

85 CONTINUE

C * ----- SECTION 5 -----

C For W1AD.LE.GRND--- phase 1 additional velocity. Index VELAD

RETURN

86 CONTINUE

C * ----- SECTION 6 -----

C For W2AD.LE.GRND--- phase 2 additional velocity. Index VELAD

RETURN

87 CONTINUE

C * ----- SECTION 7 ----
Volumetric source for gala

RETURN

88 CONTINUE

C * ----- SECTION 8 ----
Convection fluxes

C--- Entered when UCONV =.TRUE.; block-location indices are:

C LD11 for east and north (accessible at the same time),

C LD12 for west and south (accessible at the same time),

C LD2 for high (which becomes low for the next slab).

C User should provide INDVAR and NDIREC IF's as appropriate.

RETURN

89 CONTINUE

C * ----- SECTION 9 ----
Diffusion coefficients

C--- Entered when UDIFF =.TRUE.; block-location indices are LAE

C for east, LAW for west, LAN for north,
LAS for

C south, LD11 for high, and LD11 for low.

C User should provide INDVAR and
NDIREC IF's as above.

C EARTH will apply the DIFCUT and
GP12 modifications after the user

C has made his settings.

C

RETURN

810 CONTINUE

C * ----- SECTION 10 ---
Convection neighbours

RETURN

811 CONTINUE

C * ----- SECTION 11 ---
Diffusion neighbours

RETURN

812 CONTINUE

C * ----- SECTION 12 ---
Linearised sources

RETURN

813 CONTINUE

C * ----- SECTION 13 ---
Correction coefficients

RETURN

814 CONTINUE

C * ----- SECTION 14 --- User's
own solver

RETURN

815 CONTINUE

C * ----- SECTION 15 ---
Change solution

RETURN

816 CONTINUE

C * ----- SECTION 16 ---
Change DVEL/DPs

RETURN

C

C * See the equivalent section in GREX
for the indices to be

C used in sections 7 - 16

C

C * Make all other group-8 changes in
GROUP 19.

C*****

C

C--- GROUP 9. Properties of the medium
(or media)

C

C The sections in this group are arranged
sequentially in their

C order of calling from EARTH. Thus, as
can be seen from below,

C the temperature sections (10 and 11)
precede the density

C sections (1 and 3); so, density formulae
can refer to

C temperature stores already set.

9 GO TO
(91,92,93,94,95,96,97,98,99,900,901,902
,903,904,905),ISC

C*****

900 CONTINUE

C * ----- SECTION 10 -----

C For TMP1.LE.GRND----- phase-1
temperature Index TEMP1

RETURN

901 CONTINUE

```

C * ----- SECTION 11 -----
-----
C   For TMP2.LE.GRND----- phase-2
temperature Index TEMP2

    RETURN

902 CONTINUE

C * ----- SECTION 12 -----
-----
C   For EL1.LE.GRND----- phase-1
length scale Index LEN1

    RETURN

903 CONTINUE

C * ----- SECTION 13 -----
-----
C   For EL2.LE.GRND----- phase-2
length scale Index LEN2

    RETURN

904 CONTINUE

C * ----- SECTION 14 -----
-----
C   For SOLVE(TEM1)----- phase-1
specific heat

    RETURN

905 CONTINUE

C * ----- SECTION 15 -----
-----
C   For SOLVE(TEM2)----- phase-2
specific heat

    RETURN

91 CONTINUE

C * ----- SECTION 1 -----
-----
C   For RHO1.LE.GRND--- density for
phase 1   Index DEN1

    CALL
GETYX(LBNAME('H1'),GHH,NYD,NXD)

    DO 921 IY=1, NY

IG(1)=1

IG(2)=63

C ----- DENSITY

922 IG(3)=((IG(1)+IG(2))/2)

    IF (GHH(IY,1).LT.GHTAB(IG(3)))
THEN
    IG(2)=IG(3)

    ELSE

    IG(1)=IG(3)

    ENDIF

        IF((IG(2)-IG(1)).NE.1) GOTO
922

921
GRHO(IY,1)=GRHOTAB(IG(1))+(GRHOT
AB(IG(2))-GRHOTAB(IG(1)))*

&((GHH(IY,1)-
GHTAB(IG(1)))/(GHTAB(IG(2))-
GHTAB(IG(1))))

    CALL
SETYX(LBNAME('RHO1'),GRHO,NYD,N
XD)

    RETURN

92 CONTINUE

C * ----- SECTION 2 -----
-----
C   For DRH1DP.LE.GRND---
D(LN(DEN))/DP for phase 1

C   Index
D1DP

    RETURN

93 CONTINUE

C * ----- SECTION 3 -----
-----
C   For RHO2.LE.GRND--- density for
phase 2   Index DEN2

    RETURN

94 CONTINUE

```

```

C * ----- SECTION 4 -----
-----
C      For DRH2DP.LE.GRND---
D(LN(DEN))/DP for phase 2

C                                     Index
D2DP

      RETURN

95 CONTINUE

C * ----- SECTION 5 -----
-----
C      For ENUT.LE.GRND--- reference
turbulent kinematic viscosity

C                                     Index
VIST

      RETURN

96 CONTINUE

C * ----- SECTION 6 -----
-----
C      For ENUL.LE.GRND--- reference
laminar kinematic viscosity

C                                     Index
VISL

      CALL
GETYX(LBNAME('H1'),GHH,NYD,NXD)

      DO 923 IY=1, NY

      IG(1)=1

      IG(2)=63

C ----- VISCOSITY
924 IG(3)=((IG(1)+IG(2))/2)

      IF (GHH(IY,1).LT.GHTAB(IG(3)))
THEN

      IG(2)=IG(3)

      ELSE

      IG(1)=IG(3)

      ENDIF

      IF((IG(2)-IG(1)).NE.1) GOTO
924

```

```

GEMU(IY,1)=GEMUTAB(IG(1))+(GEMUT
AB(IG(2))-GEMUTAB(IG(1)))*

      &((GHH(IY,1)-
GHTAB(IG(1)))/(GHTAB(IG(2))-
GHTAB(IG(1))))

GRHO(IY,1)=GRHOTAB(IG(1))+(GRHOT
AB(IG(2))-GRHOTAB(IG(1)))*

      &((GHH(IY,1)-
GHTAB(IG(1)))/(GHTAB(IG(2))-
GHTAB(IG(1))))

923
GENU(IY,1)=GEMU(IY,1)/GRHO(IY,1)

C                                     CALL
SETYX(VISL,GENU,NYD,NXD)

      CALL
SETYX(LBNAME('ENUL'),GENU,NYD,N
XD)

      RETURN

97 CONTINUE

C * ----- SECTION 7 -----
-----
C      For PRNDTL( ).LE.GRND--- laminar
PRANDTL nos., or diffusivity

C                                     Index
LAMPR

      IF (INDVAR.EQ.LBNAME('H1')) THEN

      CALL
GETYX(LBNAME('H1'),GHH,NYD,NXD)

      DO 925 IY=1, NY

      IG(1)=1

      IG(2)=63

C ----- PRNDTL
926 IG(3)=((IG(1)+IG(2))/2)

      IF (GHH(IY,1).LT.GHTAB(IG(3)))
THEN

      IG(2)=IG(3)

```



```

ELSE
IG(1)=IG(3)
ENDIF
IF((IG(2)-IG(1)).NE.1) GOTO 926

GTHK(IY,1)=GTHKTAB(IG(1))+(GTHKTA
B(IG(2))-GTHKTAB(IG(1)))
&((GHH(IY,1)-
GHTAB(IG(1)))/(GHTAB(IG(2))-
GHTAB(IG(1))))

GEMU(IY,1)=GEMUTAB(IG(1))+(GEMUT
AB(IG(2))-GEMUTAB(IG(1)))
&((GHH(IY,1)-
GHTAB(IG(1)))/(GHTAB(IG(2))-
GHTAB(IG(1))))

GCP(IY,1)=GCPTAB(IG(1))+(GCPTAB(I
G(2))-GCPTAB(IG(1)))
&((GHH(IY,1)-
GHTAB(IG(1)))/(GHTAB(IG(2))-
GHTAB(IG(1))))

925
GPR(IY,1)=(GEMU(IY,1)*GCP(IY,1))/(GT
HK(IY,1))

CALL
SETYX(LAMPR,GPR,NYD,NXD)

END IF

IF (INDVAR.EQ.C27) THEN

CALL
GETYX(LBNAME('H1'),GHH,NYD,NXD)

CALL
GETYX(LOW(H1),GTT,NYD,NXD)

CALL
GETYX(HIGH(H1),GHHL,NYD,NXD)

DO 933 IY=1, NY

IG(1)=1

IG(2)=63

C ----- PRNDTL
934 IG(3)=((IG(1)+IG(2))/2)
IF (GHH(IY,1).LT.GHTAB(IG(3)))
THEN
IG(2)=IG(3)
ELSE
IG(1)=IG(3)
ENDIF
IF((IG(2)-IG(1)).NE.1) GOTO 934

GSIG(IY,1)=GSIGTAB(IG(1))+(GSIGTAB(
IG(2))-GSIGTAB(IG(1)))
&((GHH(IY,1)-
GHTAB(IG(1)))/(GHTAB(IG(2))-
GHTAB(IG(1))))

GEMU(IY,1)=GEMUTAB(IG(1))+(GEMUT
AB(IG(2))-GEMUTAB(IG(1)))
&((GHH(IY,1)-
GHTAB(IG(1)))/(GHTAB(IG(2))-
GHTAB(IG(1))))

933
GPRPOT(IY,1)=GEMU(IY,1)/gsig(iy,1)

IF (IZ.EQ.NZ) THEN

DO 5933 IY=1, NY

IG(4)=1

IG(5)=63

IG(1)=1

IG(2)=63

C ----- PRNDTL
5934 IG(3)=((IG(1)+IG(2))/2)
IF (GTT(IY,1).LT.GHTAB(IG(3)))
THEN
IG(2)=IG(3)
ELSE
IG(1)=IG(3)

```

```

        ENDIF
        IF((IG(2)-IG(1)).NE.1) GOTO 5934
5938 IG(6)=((IG(4)+IG(5))/2)
        IF (GHH(IY,1).LT.GHTAB(IG(6)))
THEN
        IG(5)=IG(6)
        ELSE
        IG(4)=IG(6)
        ENDIF
        IF((IG(5)-IG(4)).NE.1) GOTO 5938

GSIG(IY,1)=GSIGTAB(IG(1))+(GSIGTAB(
IG(2))-GSIGTAB(IG(1)))*
        &((GTT(IY,1)-
GHTAB(IG(1)))/(GHTAB(IG(2))-
GHTAB(IG(1))))

GEMU(IY,1)=GEMUTAB(IG(4))+(GEMUT
AB(IG(5))-GEMUTAB(IG(4)))*
        &((GHH(IY,1)-
GHTAB(IG(4)))/(GHTAB(IG(5))-
GHTAB(IG(4))))
5933
GPRPOT(IY,1)=GEMU(IY,1)/(gsig(iy,1))
        ENDIF
        IF (IZ.EQ.1) THEN
        DO 5433 IY=1, NY
        IG(4)=1
        IG(5)=63
        IG(1)=1
        IG(2)=63
C ----- PRNDTL
5434 IG(3)=((IG(1)+IG(2))/2)
        IF (GHHL(IY,1).LT.GHTAB(IG(3)))
THEN
        IG(2)=IG(3)
        ELSE
        IG(1)=IG(3)
        ENDIF
        IF((IG(2)-IG(1)).NE.1) GOTO 5434
5969 IG(6)=((IG(4)+IG(5))/2)
        IF (GHH(IY,1).LT.GHTAB(IG(6)))
THEN
        IG(5)=IG(6)
        ELSE
        IG(4)=IG(6)
        ENDIF
        IF((IG(5)-IG(4)).NE.1) GOTO 5969

GSIG(IY,1)=GSIGTAB(IG(1))+(GSIGTAB(
IG(2))-GSIGTAB(IG(1)))*
        &((GHHL(IY,1)-
GHTAB(IG(1)))/(GHTAB(IG(2))-
GHTAB(IG(1))))

GEMU(IY,1)=GEMUTAB(IG(4))+(GEMUT
AB(IG(5))-GEMUTAB(IG(4)))*
        &((GHH(IY,1)-
GHTAB(IG(4)))/(GHTAB(IG(5))-
GHTAB(IG(4))))
5433
GPRPOT(IY,1)=GEMU(IY,1)/(gsig(iy,1))
        ENDIF
        CALL
SETYX(lampr,GPRPOT,NYD,NXD)
        CALL
SETYX(LBNAME('C31'),GSIG,NYD,NXD)
        END IF
        RETURN
        98 CONTINUE
C * ----- SECTION 8 -----
-----

```

C For PHINT().LE.GRND--- interface
value of first phase

C Index FII1

RETURN

99 CONTINUE

C * ----- SECTION 9 -----

C For PHINT().LE.GRND--- interface
value of second phase

C Index FII2

RETURN

C*****

C

C--- GROUP 10. Inter-phase-transfer
processes and properties

C

10 GO TO (101,102,103,104,105),ISC

101 CONTINUE

C * ----- SECTION 1 -----

C For CFIPS.LE.GRND--- inter-phase
friction coeff.

C Index

INTFRC

RETURN

102 CONTINUE

C * ----- SECTION 2 -----

C For CMDOT.EQ.GRND- inter-phase
mass transfer Index INTMDT

c I0mdt=I0f(intmdt)

c I0c2=I0f(c2)

c I0r1=I0f(9)

c I0vol=I0f(LVOL)

c do i=1,nx*ny

c f(I0mdt+i)= - cmdta * (phint(c2) -
f(I0c2+i)) *

c 1 f(I0r1+i) * f(I0vol+i)

c enddo

RETURN

103 CONTINUE

C * ----- SECTION 3 -----

C For CINT().EQ.GRND--- phase1-to-
interface transfer coefficients

C Index

COI1

RETURN

104 CONTINUE

C * ----- SECTION 4 -----

C For CINT().EQ.GRND--- phase2-to-
interface transfer coefficients

C Index

COI2

RETURN

105 CONTINUE

C * ----- SECTION 5 -----

C For CVM.EQ.GRND--- virtual mass
coefficient

C Index

LD12

RETURN

C*****

C

C--- GROUP 11. Initialization of variable or
porosity fields

C Index VAL

11 CONTINUE

RETURN

```

C*****
*****
C
C--- GROUP 12. Convection and diffusion
adjustments
C
12 CONTINUE
RETURN
C*****
*****
C
C--- GROUP 13. Boundary conditions and
special sources
C
Index for
Coefficient - CO
C
Index for Value
- VAL
13 CONTINUE
GO TO
(130,131,132,133,134,135,136,137,138,1
39,1310,
11311,1312,1313,1314,1315,1316,1317,
1318,1319,1320,1321),ISC
130 CONTINUE
C----- SECTION 1 -----
coefficient = GRND
CALL
GETYX(LBNAME('H1'),GHH,NYD,NXD)
CALL
GETYX(LBNAME('C31'),GSIG,NYD,NXD)
L0FDZ=L0F(DZWNZ)
DO 9833 IY=1, NY
9833
GPRPOTC(IY,1)=2.*gsig(iy,1)/F(L0FDZ+I
Z)
CALL
SETYX(CO,GPRPOTC,NYD,NXD)

```

```

RETURN
131 CONTINUE
C----- SECTION 2 -----
coefficient = GRND1
RETURN
132 CONTINUE
C----- SECTION 3 -----
coefficient = GRND2
RETURN
133 CONTINUE
C----- SECTION 4 -----
coefficient = GRND3
CALL
GETYX(LBNAME('H1'),GHH,NYD,NXD)
DO 9813 IY=1, NY
IG(1)=1
IG(2)=63
C----- PRNDTL
9814 IG(3)=((IG(1)+IG(2))/2)
IF (GHH(IY,1).LT.GHTAB(IG(3)))
THEN
IG(2)=IG(3)
ELSE
IG(1)=IG(3)
ENDIF
IF((IG(2)-IG(1)).NE.1) GOTO 9814
GTHK(IY,1)=GTHKTAB(IG(1))+GTHKTA
B(IG(2))-GTHKTAB(IG(1))*
&((GHH(IY,1)-
GHTAB(IG(1)))/(GHTAB(IG(2))-
GHTAB(IG(1))))
GEMU(IY,1)=GEMUTAB(IG(1))+GEMUT
AB(IG(2))-GEMUTAB(IG(1))*

```

```

      &((GHH(IY,1)-
GHTAB(IG(1)))/(GHTAB(IG(2))-
GHTAB(IG(1))))

GCP(IY,1)=GCPTAB(IG(1))+(GCPTAB(I
G(2))-GCPTAB(IG(1)))

      &((GHH(IY,1)-
GHTAB(IG(1)))/(GHTAB(IG(2))-
GHTAB(IG(1))))

9813
GPRPR(IY,1)=1./((GEMU(IY,1)*GCP(IY,1
)))/(GTHK(IY,1)))

      CALL SETYX(CO,GPRPR,NYD,NXD)

      RETURN

134 CONTINUE

C----- SECTION 5 -----
coefficient = GRND4

      RETURN

135 CONTINUE

C----- SECTION 6 -----
coefficient = GRND5

      RETURN

136 CONTINUE

C----- SECTION 7 -----
coefficient = GRND6

      RETURN

137 CONTINUE

C----- SECTION 8 -----
coefficient = GRND7

      RETURN

138 CONTINUE

C----- SECTION 9 -----
coefficient = GRND8

      RETURN

139 CONTINUE

C----- SECTION 10 -----
coefficient = GRND9

```

```

      RETURN

1310 CONTINUE

C----- SECTION 11 -----
coefficient = GRND10

      RETURN

1311 CONTINUE

C----- SECTION 12 -----
---- value = GRND

      CALL FN21(VAL,C15,vol,0.0,1.0)

      RETURN

1312 CONTINUE

C----- SECTION 13 -----
---- value = GRND1

      CALL FN21(VAL,C13,vol,0.0,1.0)

      RETURN

1313 CONTINUE

C----- SECTION 14 -----
---- value = GRND2

      CALL
GETYX(LBNAME('H1'),GHH,NYD,NXD)

      CALL
GETYX(LBNAME('C7'),GC7,NYD,NXD)

      CALL
GETYX(LBNAME('C9'),GC9,NYD,NXD)

      CALL
GETYX(LBNAME('C31'),GSIG,NYD,NXD)

      DO 959 IY=1, NY

      IG(1)=1

      IG(2)=63

958 IG(3)=((IG(1)+IG(2))/2)

      IF (GHH(IY,1).LT.GHTAB(IG(3)))
THEN

      IG(2)=IG(3)

      ELSE

      IG(1)=IG(3)

      ENDIF

```

```

          IF((IG(2)-IG(1)).NE.1)  GOTO
958
      GTEM(IY,1)=GTTAB(IG(1))+GTTAB(IG(
2))-GTTAB(IG(1)))
      &((GHH(IY,1)-
GHTAB(IG(1)))/(GHTAB(IG(2))-
GHTAB(IG(1))))
      GJOULE(IY,1)=((GC7(IY,1)**2)+(GC9(IY,
1)**2))/(GSIG(IY,1))
959  gpr(iy,1)=gpr(iy,1)
      CALL
      SETYX(VAL,GJOULE,NYD,NXD)
      CALL
      SETYX(C10,GJOULE,NYD,NXD)
      CALL SETYX(C21,GTEM,NYD,NXD)
      RETURN
1314 CONTINUE
C----- SECTION 15 -----
---- value = GRND3
      CALL
      GETYX(LBNAME('H1'),GHH,NYD,NXD)
      L0FRG=L0F(RG2D)
      L0ZG=L0F(ZGNZ)
      L0VOL=L0F(VOL)
      DO 935 IY=1, NY
      IG(1)=1
      IG(2)=63
C ----- PRNDTL
936  IG(3)=((IG(1)+IG(2))/2)
      IF  (GHH(IY,1).LT.GHTAB(IG(3)))
      THEN
      IG(2)=IG(3)
      ELSE
      IG(1)=IG(3)
      ENDIF

```

```

          IF((IG(2)-IG(1)).NE.1)  GOTO
936
      RG(6)=GRADTAB(IG(1))+GRADTAB(IG(
2))-GRADTAB(IG(1)))
      &((GHH(IY,1)-
GHTAB(IG(1)))/(GHTAB(IG(2))-
GHTAB(IG(1))))
      if(isweep.eq.LSWEEP.AND.IZ.NE.1)
      then
      do i=1, ny
      do k=1, 314
      gr2(i)=((f(10frG+iy)*sin(float(k)*0.01))**2+(
F(10frG+i)-
&f(10frG+iy)*cos(float(k)*0.01))**2)**.5
      gdz2(i)=ABS(RG(50)-(RG(50)-
f(10zG+iz)))
      GRIJ(I)=(GR2(I)**2+GDZ2(I)**2)**.5
      GPSI(I)=GDZ2(I)/GRIJ(I)
      GSUMA(I)=GSUMA(I)+(RG(6)*GPSI(I)*(2
.*F(L0VOL+IY))
      &/((12.566*GRIJ(I)**2))
      enddo
      IF(IZ.EQ.NZ-1.and.iy.eq.ny) THEN
      WRITE(69,*)F(L0FRG+I),GSUMA(I)
      ENDIF
      ENDDO
      ENDIF
935  GRAD(IY,1)=-RG(6)
      CALL SETYX(VAL,GRAD,NYD,NXD)
      CALL SETYX(C12,GRAD,NYD,NXD)
      RETURN
1315 CONTINUE
C----- SECTION 16 -----
---- value = GRND4

```

```

CALL
GETYX(LBNAME('H1'),GHH,NYD,NXD)

CALL
GETYX(LBNAME('C23'),GC23,NYD,NXD
)

CALL
GETYX(LBNAME('C25'),GC25,NYD,NXD
)

CALL
GETYX(LBNAME('C7'),GC7,NYD,NXD)

CALL
GETYX(LBNAME('C9'),GC9,NYD,NXD)

DO 971 IY=1, NY

if (iy.eq.1) then

GBC5(IY,1)=2.1543367E-
04*(GC9(IY,1)*GC25(IY,1))

else

GBC5(IY,1)=2.1543367E-
04*((GC9(IY,1)

&*(GC25(IY,1)))+(GC7(IY,1)*(GC23(IY,1)
)))

endif

971 GBC5(iy,1)=GBC5(iy,1)

CALL SETYX(VAL,GBC5,NYD,NXD)

CALL SETYX(C14,GBC5,NYD,NXD)

RETURN

1316 CONTINUE

C----- SECTION 17 -----
--- value = GRND5

RETURN

1317 CONTINUE

C----- SECTION 18 -----
--- value = GRND6

RETURN

1318 CONTINUE

C----- SECTION 19 -----
--- value = GRND7

RETURN

1319 CONTINUE

C----- SECTION 20 -----
--- value = GRND8

CALL FN3(VAL,RG2D,-
8.8E+07,0.0,5.78567E+12)

RETURN

1320 CONTINUE

C----- SECTION 21 -----
--- value = GRND9

CALL
GETYX(LBNAME('H1'),GHH,NYD,NXD)

CALL
GETYX(HIGH(H1),GTT,NYD,NXD)

CALL
GETYX(HIGH(V1),GV1,NYD,NXD)

CALL
GETYX(HIGH(C9),GC9,NYD,NXD)

CALL
GETYX(LBNAME('C21'),GC21,NYD,NXD
)

L0FR=L0F(RV2D)

DO 4937 IY=1, NY

IG(1)=1

IG(2)=63

4938 IG(3)=((IG(1)+IG(2))/2)

IF (GTT(IY,1).LT.GHTAB(IG(3)))
THEN

IG(2)=IG(3)

ELSE

IG(1)=IG(3)

ENDIF

IF((IG(2)-IG(1)).NE.1) GOTO 4938

```

```
GEMU(IY,1)=GEMUTAB(IG(1))+(GEMUTAB(IG(2))-GEMUTAB(IG(1)))*
```

```
&((GHH(IY,1)-GHTAB(IG(1)))/(GHTAB(IG(2))-GHTAB(IG(1))))
```

```
GRHO(IY,1)=GRHOTAB(IG(1))+(GRHOTAB(IG(2))-GRHOTAB(IG(1)))*
```

```
&((GHH(IY,1)-GHTAB(IG(1)))/(GHTAB(IG(2))-GHTAB(IG(1))))
```

```
GBC2(IY,1)=-6.76*ABS(GC9(IY,1))
```

```
GBC3(IY,1)=-2.1543367E-04*ABS(GC9(IY,1))
```

```
&*(1.2*GC21(IY,1)-1800.)
```

```
GBC1(IY,1)=-.79*(((GEMU(IY,1)*GRHO(IY,1))/(2.4E-05))**.11)*
```

```
&((2.4E-05*abs(GV1(IY,1))/F(L0FR+IY))**.5)*
```

```
&ABS((GTT(IY,1)-6.254E+05))
```

```
C ***** SUBROUTINE THAT COMPUTES THE HEAT FLUX DUE
```

```
c ***** ANODE FALL+WORK FUNCTION, THOMPSON E & CONV
```

```
IF (ISWEEP.EQ.LSWEEP-1) THEN
```

```
WRITE(72,*)F(L0FR+IY),-
```

```
GBC1(IY,1),-GBC2(IY,1),-GBC3(IY,1),
```

```
&-GBC1(IY,1)-GBC2(IY,1)-GBC3(IY,1)
```

```
ENDIF
```

```
c ***** FINISH OF SUBROUTINE
```

```
4937
```

```
GBC(IY,1)=GBC1(IY,1)+GBC2(IY,1)+GBC3(IY,1)
```

```
C4937 GBC(IY,1)=GBC1(IY,1)
```

```
CALL SETYX(VAL,GBC,NYD,NXD)
```

```
RETURN
```

```
1321 CONTINUE
```

```
C----- SECTION 22 -----
```

```
--- value = GRND10
```

```
RETURN
```

```
C*****  
*****
```

```
C
```

```
C--- GROUP 14. Downstream pressure for PARAB=.TRUE.
```

```
C
```

```
14 CONTINUE
```

```
RETURN
```

```
C*****  
*****
```

```
C* Make changes to data for GROUPS 15, 16, 17, 18 GROUP 19.
```

```
C*****  
*****
```

```
C
```

```
C--- GROUP 19. Special calls to GROUND from EARTH
```

```
C
```

```
19 GO TO (191,192,193,194,195,196,197,198,199,1910,1911),ISC
```

```
191 CONTINUE
```

```
C * ----- SECTION 1 ---- Start of time step.
```

```
RETURN
```

```
192 CONTINUE
```

```
C * ----- SECTION 2 ---- Start of sweep.
```

```
DO IY=1, NY
```

```
GSUMA(IY)=0.0
```

```
ENDDO
```

```
RETURN
```



```

193 CONTINUE
C * ----- SECTION 3 ---- Start
of iz slab.
    RETURN
194 CONTINUE
C * ----- SECTION 4 ---- Start
of iterations over slab.
    RETURN
1911 CONTINUE
C * ----- SECTION 11---- After
calculation of convection
C          fluxes for scalars,
and of volume
C          fractions, but before
calculation of
C          scalars or velocities
    RETURN
199 CONTINUE
C * ----- SECTION 9 ---- Start
of solution sequence for
C          a
variable
    RETURN
1910 CONTINUE
C * ----- SECTION 10---- Finish
of solution sequence for
C          a
variable
    RETURN
195 CONTINUE
C * ----- SECTION 5 ---- Finish
of iterations over slab.
    RETURN
196 CONTINUE
C * ----- SECTION 6 ---- Finish
of iz slab.

```

```

RG(100)=4E-07*3.1416
LOC27=L0F(C27)
LOC21=L0F(C21)
l0z=l0f(zwnz)
LOC3=L0F(C3)
LOC5=L0F(C5)
LOC7=L0F(C7)
LOC9=L0F(C9)
LOC17=L0F(l0w(C7))
LOC19=L0F(l0w(C9))
LOC11=L0F(C11)
LOC13=L0F(C13)
LOC15=L0F(C15)
L0FRG=L0F(RG2D)
L0FR=L0F(RV2D)
L0FRG=L0F(RG2D)
L0FDR=L0F(DYV2D)
c derivation of potential with respect to r an
z
CALL FNDSY(C3,C27)
CALL FNDSZ(C5,C27)
C COMPUTATION OF TEMPERATURE
DERIVATIVES
CALL FNDSY (C23,LBNAME('C21'))
CALL FNDSZ (C25,LBNAME('C21'))
C computation of B from Ampere's law
DO IY=1, NY
    RG(99)=0.0
    DO II=1, IY
        RG(99)=RG(99)+F(L0C9+II)*F(L0FRG+II)
        *F(L0FDR+II)
    ENDDO

```

```
F(L0c11+IY)=(RG(100)/F(L0FRG+IY))*R
G(99)
```

```
ENDDO
```

```
CALL FN21(C7,C31,C3,0.0,-1.0)
```

```
CALL FN21(C9,C31,C5,0.0,-1.0)
```

```
c computation of Lorentz's forces
```

```
if (iz.ne.NZ) then
```

```
do 458 iy=1, ny
```

```
f(l0c13+iy)=f(l0c7+iy)*f(l0c11+iy)
```

```
f(l0c15+iy)=-f(l0c9+iy)*f(l0c11+iy)
```

```
458 continue
```

```
endif
```

```
if (iz.eq.NZ) then
```

```
do 4458 iy=1, ny
```

```
f(l0c13+iy)=f(l0c7+iy)*f(l0c11+iy)
```

```
f(l0c15+iy)=-f(l0c9+iy)*f(l0c11+iy)
```

```
4458 continue
```

```
endif
```

```
CALL FNDVDZ(C33,V1)
```

```
CALL FNDVDY(C19,V1)
```

```
C
```

```
C *** PRINT TEMPERATURE ALL FIELD
```

```
IF(isweep.eq.LSWEEP-1) THEN
```

```
call getyx(c21,gc21,nyd,nxd)
```

```
do iy=1, ny
```

```
if (iz.eq.NZ) then
```

```
write(67,*)f(L0FR+iy),-f(l0c11+iy)
```

```
endif
```

```
if (iz.eq.45) then
```

```
write(68,*)f(L0FR+iy),-f(l0c11+iy)
```

```
write(61,*)f(L0FR+iy),-f(l0c9+iy)
```

```
write(64,*)f(L0FR+iy),f(l0c7+iy)
```

```
endif
```

```
if (iz.eq.30) then
```

```
write(81,*)f(L0FR+iy),-f(l0c11+iy)
```

```
write(62,*)f(L0FR+iy),-f(l0c9+iy)
```

```
write(65,*)f(L0FR+iy),f(l0c7+iy)
```

```
endif
```

```
if (iz.eq.15) then
```

```
write(82,*)f(L0FR+iy),-f(l0c11+iy)
```

```
write(63,*)f(L0FR+iy),-f(l0c9+iy)
```

```
write(66,*)f(L0FR+iy),f(l0c7+iy)
```

```
endif
```

```
if (iz.eq.1) then
```

```
write(83,*)f(L0FR+iy),-f(l0c11+iy)
```

```
endif
```

```
IF (IY.EQ.10) THEN
```

```
write(84,*)-f(L0Z+Iz)+rg(50),-
f(l0c11+iy)
```

```
ENDIF
```

```
write(80,*)f(l0fr+iy),-
F(L0z+iz)+rg(50),f(l0c21+iy)
```

```
write(60,*)f(l0fr+iy),-F(L0z+iz)+rg(50),-
f(l0c11+iy)
```

```
enddo
```

```
endif
```

```
if (iz.eq.1) then
```

```
IF (ISWEEP.EQ.LSWEEP-1) THEN
```

```
CALL
```

```
GETYX(HIGH(H1),GTT,NYD,NXD)
```

```
CALL
```

```
GETYX(HIGH(V1),GV1,NYD,NXD)
```

```
CALL
```

```
GETYX(H1,GHH,NYD,NXD)
```

```
CALL
```

```
GETYX(HIGH(C9),GC9,NYD,NXD)
```

```
call getyx(c21,gc21,nyd,nxd)
```

```
call getyx(c33,gc33,nyd,nxd)
```

```

call getyx(c19,gc19,nyd,nxd)
call getyx(p1,gp1,nyd,nxd)
call getyx(visl,gemu,nyd,nxd)
call getyx(den1,grho,nyd,nxd)
do iy=1, ny
  gtau(iy,1)=-
GEMU(IY,1)*GRHO(IY,1)*gc33(iy,1)

  write(70,*)f(l0fr+iy),GTAU(IY,1)

GBC1(IY,1)=(.7904)*(((GEMU(IY,1)*GRH
O(IY,1)**2)

  &/(1.8702E-05)**.11)*((1.8702E-
05*abs(gV1(iy,1)/

  &F(L0FR+IY))**.5)*ABS((GTT(IY,1)-
5.2E+05))

GBC(IY,1)=(.7904)*(((GEMU(IY,1)*GRHO
(IY,1)**2)

  &/(2.4E-05)**.11)*(2.4E-
05*abs(gC19(iy,1))**.5)

  &*ABS(GTT(IY,1)-6.254E+05)

write(75,*)f(l0fr+iy),GBC1(iy,1),GBC(IY,1)

  write(79,*)f(l0fr+iy),GP1(IY,1)

  write(77,*)f(l0fr+iy),-GC9(IY,1)

  write(74,*)f(l0fr+iy),GC21(IY,1)

  enddo

  endif

  endif

  IF (ISWEEP.EQ.LSWEEP-1) THEN

  call getyx(W1,GW1,nyd,nxd)

  call getyx(P1,GP1,nyd,nxd)

  call getyx(C21,GC21,nyd,nxd)

  call getyx(C9,GC9,nyd,nxd)

  write(71,*)f(l0fr+1),-
F(L0z+iz)+rg(50),GC21(1,1)

  write(73,*)f(l0fr+1),-F(L0z+iz)+rg(50),-
GW1(1,1)

  write(76,*)f(l0fr+1),-F(L0z+iz)+rg(50),-
GC9(1,1)

  write(78,*)f(l0fr+1),-
F(L0z+iz)+rg(50),GP1(1,1)

  ENDIF

  RETURN

  197 CONTINUE

C * ----- SECTION 7 ---- Finish
of sweep.

  RETURN

  198 CONTINUE

C * ----- SECTION 8 ---- Finish
of time step.

C

  RETURN

C*****
*****

C

C--- GROUP 20. Preliminary print-out

C

  20 CONTINUE

  RETURN

C*****
*****

C--- GROUP 21. Special print-out to
screen

  21 CONTINUE

  GO TO 25

C*****
*****

C* Make changes to data for GROUP 22
only in GROUP 19.

C*****
*****

```

```

C
C--- GROUP 23. Field print-out and plot
control

23 CONTINUE

RETURN

C*****
*****

```

```

C
C--- GROUP 24. Dumps for restarts

C
24 CONTINUE

END

```

• **Anexo 3. Archivo Ground.for, CO₂**

```

C.... FILE NAME GROUND.FTN-----
-----240802

SUBROUTINE GROUND

include 'farray'

INCLUDE 'satear'

INCLUDE 'grdloc'

INCLUDE 'satgrd'

INCLUDE 'grdear'

INCLUDE 'grdbfc'

COMMON/GENI/NXNY,IGFIL(8),NFM,I
GF(21),IPRL,IBTAU,ILTLS,IGFIL(15),

1
ITEM1,ITEM2,ISPH1,ISPH2,ICON1,ICON
2,IPRPS,IRADX,IRADY,IRADZ,IVFOL

COMMON/DRHODP/ITEMP,IDEN/DVMO
D/IDVCGR

COMMON/HBASE/IH01,IH02,KH01,KH0
1H,KH01L,KH02,KH02H,KH02L,L0H012

CXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
XXXXXXXXXXXXX USER SECTION
STARTS:

C
C 1 Set dimensions of data-for-GROUND
arrays here. WARNING: the

```

```

C corresponding arrays in the MAIN
program of the satellite

C and EARTH must have the same
dimensions.

PARAMETER (NLG=100, NIG=200,
NRG=200, NCG=100)

PARAMETER
(NYD=130,NXD=1,NZD=130,NTAB=62)

C

COMMON/LGRND/LG(NLG)/IGRND/IG(
NIG)/RGRND/RG(NRG)/CGRND/CG(NC
G)

LOGICAL LG

CHARACTER*4 CG

C
C 2 User dimensions own arrays here, for
example:

C DIMENSION
GUH(10,10),GUC(10,10),GUX(10,10),GU
Z(10)

DIMENSION
GC7(NYD,NXD),GC9(NYD,NXD),GJOUL
E(NYD,NXD),RCOS(NYD)

DIMENSION
GRHO(NYD,NXD),GRHOTAB(NTAB),GT
T(NYD,NXD),GTTAB(NTAB)

```

DIMENSION
GEMUTAB(NTAB),GENU(NYD,NXD),GE
MU(NYD,NXD),RA(NYD)

DIMENSION
GTHKTAB(NTAB),GTHK(NYD,NXD),GR
ADTAB(NTAB),GRAD(NYD,NXD)

DIMENSION
GSIGTAB(NTAB),GSIG(NYD,NXD),GCP(
NYD,NXD),GCPTAB(NTAB)

DIMENSION
GBC(NYD,NXD),GBC1(NYD,NXD),GHH(
NYD,NXD),GHTAB(NTAB)

DIMENSION
GV1(NYD,NXD),GC13(NYD,NXD),GC15(
NYD,NXD),GPR(NYD,NXD)

DIMENSION
GC21(NYD,NXD),GC23(NYD,NXD),GC2
5(NYD,NXD),GBC3(NYD,NXD)

DIMENSION
GSIDTAB(NTAB),GSID(NYD,NXD),GBC2
(NYD,NXD)

DIMENSION
GPRPOT(NYD,NXD),GC31(NYD,NXD)

DIMENSION
GC33(NYD,NXD),GTAU(NYD,NXD),GHT
ABR(63),GHHL(NYD,NXD)

DIMENSION
GC27(NYD,NXD),GPSI(NYD+1),GW1(N
YD,NXD),GSUMA(NYD+1)

DIMENSION
GDZ2(NYD+1),GRIJ(NYD+1),GR2(NYD+
1),GP1(NYD,NXD)

DIMENSION
GC19(NYD,NXD),GPRPOTC(NYD,NXD)

DIMENSION
GTEM(NYD,NXD),GPRPR(NYD,NXD),G
BC5(NYD,NXD)

C
C 3 User places his data statements here,
for example:

C DATA NXDIM,NYDIM/10,10/

DATA GRHOTAB

1 /0.89388, 0.89388, 0.53633,
0.35749, 0.26616, 0.20106,

1 0.14254, 0.09891, 0.07342, 0.06100,
0.05398, 0.04880,

1 0.04435, 0.03955, 0.03359, 0.02779,
0.02381, 0.02136,

1 0.01965, 0.01825, 0.01699, 0.01581,
0.01469, 0.01362,

1 0.01260, 0.01163, 0.01072, 9.88E-
03, 9.09E-03, 8.95E-03,

1 7.74E-03, 7.17E-03, 6.68E-03,
6.25E-03, 5.90E-03, 5.60E-03,

1 5.34E-03, 5.12E-03, 4.93E-03,
4.76E-03, 4.60E-03, 4.46E-03,

1 4.33E-03, 4.21E-03, 4.10E-03,
3.98E-03, 3.87E-03, 3.77E-03,

1 3.66E-03, 3.55E-03, 3.45E-03,
3.34E-03, 3.24E-03, 3.13E-03,

1 3.03E-03, 2.93E-03, 2.84E-03,
2.74E-03, 2.65E-03, 2.56E-03,

1 2.47E-03, 2.47E-03/

C----- ENTHALPY

DATA GHTAB

T /-8.65E+06, -8.65E+06, -8.18E+06, -
7.54E+06, -6.77E+06, -5.33E+06

T ,-2.34E+06, 1.90E+06, 5.85E+06,
8.02E+06, 9.10E+06, 9.93E+06,

T 1.10E+07, 1.35E+07, 1.92E+07,
2.74E+07, 3.44E+07, 3.88E+07,

T 4.18E+07, 4.43E+07, 4.70E+07,
5.01E+07, 5.37E+07, 5.79E+07,

T 6.29E+07, 6.85E+07, 7.49E+07,
8.21E+07, 9.00E+07, 9.85E+07,

T 1.07E+08, 1.16E+08, 1.25E+08,
1.33E+08, 1.41E+08, 1.47E+08,

T 1.53E+08, 1.57E+08, 1.62E+08,
1.65E+08, 1.69E+08, 1.72E+08,

T 1.75E+08, 1.78E+08, 1.82E+08,
1.85E+08, 1.89E+08, 1.93E+08,

T 1.98E+08, 2.04E+08, 2.10E+08,
2.17E+08, 2.24E+08, 2.32E+08,

T 2.41E+08, 2.50E+08, 2.60E+08,
2.71E+08, 2.82E+08, 2.94E+08,

T 3.07E+08, 3.07E+08/

C----- TEMPERATURE

DATA GTTAB

O
/600.,600.,1000.,1500.,2000.,2500.,3000.,
,3500.,

O
4000.,4500.,5000.,5500.,6000.,6500.,700
0.,7500.,

O
8000.,8500.,9000.,9500.,10000.,10500.,1
1000.,11500.,

O
12000.,12500.,13000.,13500.,14000.,145
00.,15000.,

O
15500.,16000.,16500.,17000.,17500.,180
00.,18500.,

O
19000.,19500.,20000.,20500.,21000.,215
00.,22000.,

O
22500.,23000.,23500.,24000.,24500.,250
00.,25500.,

O
26000.,26500.,27000.,27500.,28000.,285
00.,29000.,

O 29500.,30000.,30000./

C----- VISCOSITY

DATA GEMUTAB

2 /2.81E-05, 2.81E-05, 4.11E-05,
5.48E-05, 6.56E-05, 7.66E-05,

2 8.85E-05, 1.02E-04, 1.16E-04,
1.28E-04, 1.38E-04, 1.47E-04,

2 1.57E-04, 1.67E-04, 1.80E-04,
1.96E-04, 2.10E-04, 2.22E-04,

2 2.29E-04, 2.34E-04, 2.34E-04,
2.32E-04, 2.24E-04, 2.17E-04,

2 2.05E-04, 1.89E-04, 1.70E-04,
1.48E-04, 1.25E-04, 1.04E-04,

2 8.42E-05, 6.78E-05, 5.45E-05,
4.40E-05, 3.60E-05, 3.01E-05,

2 2.57E-05, 2.26E-05, 2.03E-05,
1.87E-05, 1.76E-05, 1.69E-05,

2 1.65E-05, 1.62E-05, 1.60E-05,
1.59E-05, 1.57E-05, 1.56E-05,

2 1.54E-05, 1.51E-05, 1.48E-05,
1.44E-05, 1.39E-05, 1.34E-05,

2 1.29E-05, 1.23E-05, 1.18E-05,
1.12E-05, 1.06E-05, 1.00E-05,

2 9.46E-06, 9.46E-06/

C----- THERMAL
CONDUCTIVITY

DATA GTHKTAB

3 /0.0419, 0.0419, 0.0698, 0.1019,
0.1822, 0.5034, 1.0337,

3 1.3513, 0.9810, 0.4765, 0.3364,
0.3749, 0.7435, 2.0062,

3 3.6762, 3.7148, 2.5327, 1.6818,
1.3680, 1.3380, 1.4316,

3 1.5770, 1.7427, 1.9125, 2.0740,
2.2207, 2.3546, 2.4801,

3 2.5970, 2.7004, 2.7840, 2.8402,
2.8672, 2.8684, 2.8528,

3 2.8318, 2.8165, 2.8152, 2.8346,
2.8739, 2.9325, 3.0084,

3 3.0993, 3.2025, 3.3158, 3.4368,
3.5638, 3.6973, 3.8342,

3 3.9734, 4.1141, 4.2559, 4.3983,
4.5412, 4.6846, 4.8286,

3 4.9734, 5.1190, 5.2657, 5.4136,
5.5626, 5.5626/

C----- SPECIFIC HEAT

DATA GCPTAB

4 /1.08E+03, 1.08E+03, 1.23E+03,
1.35E+03, 1.90E+03, 4.22E+03,

4 7.63E+03, 8.82E+03, 6.27E+03,
2.83E+03, 1.75E+03, 1.73E+03,

4 3.00E+03, 7.64E+03, 1.49E+04,
1.64E+04, 1.12E+04, 6.86E+03,

4 5.19E+03, 5.05E+03, 5.65E+03,
6.61E+03, 7.79E+03, 9.09E+03,

4 1.05E+04, 1.19E+04, 1.34E+04,
1.50E+04, 1.64E+04, 1.74E+04,

4 1.79E+04, 1.78E+04, 1.69E+04,
1.55E+04, 1.38E+04, 1.20E+04,

4 1.04E+04, 8.99E+03, 7.90E+03,
7.10E+03, 6.56E+03, 6.28E+03,

4 6.22E+03, 6.39E+03, 6.78E+03,
7.38E+03, 8.18E+03, 9.17E+03,

4 1.03E+04, 1.16E+04, 1.29E+04,
1.42E+04, 1.55E+04, 1.68E+04,

4 1.81E+04, 1.93E+04, 2.06E+04,
2.20E+04, 2.33E+04, 2.45E+04,

4 2.56E+04, 2.56E+04/

C----- RADIATION-
CORRECTED FOR ABSORPTION

C----- (EVANS & TANKIN)

DATA GRADTAB

O /0.0, 0.0, 0.0,

O 0.0, 0.0, 0.0, 0.0,

O 0.0, 0.0, 30.72477, 89.98778,

O 1304.892, 27849.59, 428324.74,
3425466.97,

O 14712706.7, 40971394.8,
96067390.1, 197166355.,

O 355464926., 585781366.,
900342755., 1294713164.,

O 1740442330., 2227514855.,
2767114809., 3339136000.,

O 3964438601., 4573279258.,
4994127010., 5359934058.,

O 5853918087., 6400052554.,
6987027725., 7619995813.,

O 8239517884., 9066636398.,
1.0476E+10, 1.2247E+10,

O 1.3986E+10, 1.5947E+10,
1.8476E+10, 2.1334E+10,

O 2.4023E+10, 2.692E+10,
3.0548E+10, 3.472E+10,

O 3.9631E+10, 4.4413E+10,
4.7119E+10, 4.9426E+10,

O 5.3152E+10, 5.78E+10,
6.4234E+10, 7.024E+10,

O 7.2029E+10, 7.26E+10,
7.4405E+10, 7.66E+10,

O 7.8952E+10, 8.14E+10, 8.14E+10/

C-----ELECTRICAL
CONDUCTIVITY

DATA GSIGTAB

6 /5.42E-09, 5.42E-09, 1.38E-09,
4.65E-09, 2.15E-10, 6.12E-10,

6 5.89E-07, 8.10E-03, 0.07211,
0.30965, 1.1357, 4.9654,

6 24.822, 110.84, 368.38, 862.45,
1450.6, 1993.7, 2489.9, 2962.2,

6 3421.6, 3871.6, 4312.1, 4742.5,
5161.7, 5569.7, 5966.8, 6353.7,

6 6730.8, 7097.8, 7453.8, 7798.1,
8130.1, 8450.4, 8760.0, 9060.1,
6 9352.4, 9637.8, 9917.1, 10136.,
10457., 10715., 10962., 11195.,
6 11411., 11606., 11775., 11917.,
12029., 12113., 12172., 12210.,
6 12233., 12244., 12250., 12253.,
12256., 12260., 12266., 12276.,
6 12290., 12290./

C 4 Insert own coding below as desired,
guided by GREX examples.

C Note that the satellite-to-GREX special
data in the labelled

C COMMONs /RSG/, /ISG/, /LSG/ and
/CSG/ can be included and

C used below but the user must check
GREX for any conflicting

C uses. The same comment applies to
the EARTH-spare working

C arrays EASP1, EASP2,...EASP20. In
addition to the EASPs,

C there are 10 GRound-earth SPare
arrays, GRSP1,...,GRSP10,

C supplied solely for the user, which are
not used by GREX. If

C the call to GREX has been deactivated
then all of the arrays

C may be used without reservation.

C

C*****

c

IXL=IABS(IXL)
IF(IGR.EQ.13) GO TO 13
IF(IGR.EQ.19) GO TO 19

GO TO
(1,2,3,4,5,6,25,8,9,10,11,12,13,14,25,25,
25,25,19,20,25,

121,23,24),IGR

25 CONTINUE

RETURN

C*****

C

C--- GROUP 1. Run title and other
preliminaries

C

1 GO TO (1001,1002,1003),ISC

C

1001 CONTINUE

OPEN(60,FILE='B.txt',STATUS='unknow
n')

OPEN(61,FILE='JZ1.txt',STATUS='unkno
wn')

OPEN(62,FILE='JZ2.txt',STATUS='unkno
wn')

OPEN(63,FILE='JZ3.txt',STATUS='unkno
wn')

OPEN(64,FILE='JR1.txt',STATUS='unkno
wn')

OPEN(65,FILE='JR2.txt',STATUS='unkno
wn')

OPEN(66,FILE='JR3.txt',STATUS='unkno
wn')

OPEN(67,FILE='B1.txt',STATUS='unkno
wn')


```

OPEN(68,FILE='B2.txt',STATUS='unknown')

open(69,FILE='RADHEAT.txt',STATUS='unknown')

open(80,FILE='temp.txt',STATUS='unknown')

open(71,FILE='TY0.txt',STATUS='unknown')

open(72,FILE='Q.txt',STATUS='unknown')
)

open(73,file='W1Y0.txt',STATUS='unknown')

open(74,file='TZMX.txt',STATUS='unknown')

open(75,file='QZMX.txt',STATUS='unknown')

open(76,file='JZY0.txt',STATUS='unknown')

open(77,file='JZZMX.txt',STATUS='unknown')

open(78,file='P1Y0.txt',STATUS='unknown')

open(79,file='P1ZMX.txt',STATUS='unknown')

open(70,file='TAUZMX.txt',STATUS='unknown')

open(81,file='B3.txt',STATUS='unknown')

open(82,file='B4.txt',STATUS='unknown')

open(83,file='B5.txt',STATUS='unknown')

open(84,file='BY10.txt',STATUS='unknown')

C
C * -----GROUP 1 SECTION 3 ----
-----
C---- Use this group to create storage via
MAKE, GXMAKE etc which it is
C essential to dump to PHI (or PHIDA)
for restarts
C User may here change message
transmitted to the VDU screen

IF(.NOT.NULLPR.AND.IDVCGR.EQ.0)
1 CALL WRYT40('GROUND file is
GROUND.F of: 230597 ')

CALL MAKE (ZGNZ)
CALL MAKE (ZWNZ)
CALL MAKE (DZGNZ)
CALL MAKE (DZWNZ)
CALL MAKE (RG2D)
CALL MAKE (YG2D)
CALL MAKE (RV2D)
CALL MAKE (DYG2D)
CALL MAKE (DYV2D)
CALL MAKE (VOL)

RETURN
C * -----GROUP 1 SECTION 3 ----
-----
C---- Use this group to create storage via
GXMAKE which it is not
C necessary to dump to PHI (or PHIDA)
for restarts

```

```

C
1003 CONTINUE
    GO TO 25
1002 CONTINUE
    RETURN
C*****
*****
C
C--- GROUP 2. Transience; time-step
specification
C
2 CONTINUE
    RETURN
C*****
*****
C
C--- GROUP 3. X-direction grid
specification
C
3 CONTINUE
    RETURN
C*****
*****
C
C--- GROUP 4. Y-direction grid
specification
C
4 CONTINUE
    RETURN
C*****
*****
C
C--- GROUP 5. Z-direction grid
specification
C
5 CONTINUE
    RETURN
C*****
*****
C--- GROUP 6. Body-fitted coordinates or
grid distortion
C
6 CONTINUE
    RETURN
C*****
*****
C * Make changes for this group only in
group 19.
C--- GROUP 7. Variables stored, solved &
named
C*****
*****
C
C--- GROUP 8. Terms (in differential
equations) & devices
C
8          GO          TO
(81,82,83,84,85,86,87,88,89,810,811,812
,813,814,815,816)
1,ISC
81 CONTINUE
C * ----- SECTION 1 -----
-----
C    For U1AD.LE.GRND--- phase 1
additional velocity. Index VELAD
    RETURN
82 CONTINUE
C * ----- SECTION 2 -----
-----
C    For U2AD.LE.GRND--- phase 2
additional velocity. Index VELAD

```

RETURN

83 CONTINUE

C * ----- SECTION 3 -----

C For V1AD.LE.GRND--- phase 1
additional velocity. Index VELAD

RETURN

84 CONTINUE

C * ----- SECTION 4 -----

C For V2AD.LE.GRND--- phase 2
additional velocity. Index VELAD

RETURN

85 CONTINUE

C * ----- SECTION 5 -----

C For W1AD.LE.GRND--- phase 1
additional velocity. Index VELAD

RETURN

86 CONTINUE

C * ----- SECTION 6 -----

C For W2AD.LE.GRND--- phase 2
additional velocity. Index VELAD

RETURN

87 CONTINUE

C * ----- SECTION 7 ---
Volumetric source for gala

RETURN

88 CONTINUE

C * ----- SECTION 8 ---
Convection fluxes

C--- Entered when UCONV =.TRUE.;
block-location indices are:

C LD11 for east and north (accessible at
the same time),

C LD12 for west and south (accessible
at the same time),

C LD2 for high (which becomes low for
the next slab).

C User should provide INDVAR and
NDIREC IF's as appropriate.

RETURN

89 CONTINUE

C * ----- SECTION 9 ---
Diffusion coefficients

C--- Entered when UDIFF =.TRUE.; block-
location indices are LAE

C for east, LAW for west, LAN for north,
LAS for

C south, LD11 for high, and LD11 for low.

C User should provide INDVAR and
NDIREC IF's as above.

C EARTH will apply the DIFCUT and
GP12 modifications after the user

C has made his settings.

C

RETURN

810 CONTINUE

C * ----- SECTION 10 ---
Convection neighbours

RETURN

811 CONTINUE

C * ----- SECTION 11 ---
Diffusion neighbours

RETURN

812 CONTINUE

C * ----- SECTION 12 ---
Linearised sources

RETURN

813 CONTINUE

C * ----- SECTION 13 ---
Correction coefficients

RETURN
 814 CONTINUE
 C * ----- SECTION 14 --- User's
 own solver
 RETURN
 815 CONTINUE
 C * ----- SECTION 15 ---
 Change solution
 RETURN
 816 CONTINUE
 C * ----- SECTION 16 ---
 Change DVEL/DPs
 RETURN
 C
 C * See the equivalent section in GREX
 for the indices to be
 C used in sections 7 - 16
 C
 C * Make all other group-8 changes in
 GROUP 19.
 C*****

 C
 C--- GROUP 9. Properties of the medium
 (or media)
 C
 C The sections in this group are arranged
 sequentially in their
 C order of calling from EARTH. Thus, as
 can be seen from below,
 C the temperature sections (10 and 11)
 precede the density
 C sections (1 and 3); so, density formulae
 can refer to
 C temperature stores already set.

9 GO TO
 (91,92,93,94,95,96,97,98,99,900,901,902
 ,903,904,905),ISC
 C*****

 900 CONTINUE
 C * ----- SECTION 10 -----

 C For TMP1.LE.GRND----- phase-1
 temperature Index TEMP1
 RETURN
 901 CONTINUE
 C * ----- SECTION 11 -----

 C For TMP2.LE.GRND----- phase-2
 temperature Index TEMP2
 RETURN
 902 CONTINUE
 C * ----- SECTION 12 -----

 C For EL1.LE.GRND----- phase-1
 length scale Index LEN1
 RETURN
 903 CONTINUE
 C * ----- SECTION 13 -----

 C For EL2.LE.GRND----- phase-2
 length scale Index LEN2
 RETURN
 904 CONTINUE
 C * ----- SECTION 14 -----

 C For SOLVE(TEM1)----- phase-1
 specific heat
 RETURN
 905 CONTINUE

```

C * ----- SECTION 15 -----
-----
C   For SOLVE(TEM2)----- phase-2
specific heat

      RETURN

91 CONTINUE

C * ----- SECTION 1 -----
-----

C   For RHO1.LE.GRND--- density for
phase 1   Index DEN1

      CALL
GETYX(LBNAME('H1'),GHH,NYD,NXD)

      DO 921 IY=1, NY

      IG(1)=1

      IG(2)=63

C ----- DENSITY

922  IG(3)=((IG(1)+IG(2))/2)

      IF   (GHH(IY,1).LT.GHTAB(IG(3)))
THEN

      IG(2)=IG(3)

      ELSE

      IG(1)=IG(3)

      ENDIF

      IF((IG(2)-IG(1)).NE.1)  GOTO
922

921  GRHO(IY,1)=GRHOTAB(IG(1))+(GRHOT
AB(IG(2))-GRHOTAB(IG(1)))

      &((GHH(IY,1)-
GHTAB(IG(1)))/(GHTAB(IG(2))-
GHTAB(IG(1))))

      CALL
SETYX(LBNAME('RHO1'),GRHO,NYD,N
XD)

      RETURN

92 CONTINUE

```

```

C * ----- SECTION 2 -----
-----

C   For DRH1DP.LE.GRND---
D(LN(DEN))/DP for phase 1

C   Index
D1DP

      RETURN

93 CONTINUE

C * ----- SECTION 3 -----
-----

C   For RHO2.LE.GRND--- density for
phase 2   Index DEN2

      RETURN

94 CONTINUE

C * ----- SECTION 4 -----
-----

C   For DRH2DP.LE.GRND---
D(LN(DEN))/DP for phase 2

C   Index
D2DP

      RETURN

95 CONTINUE

C * ----- SECTION 5 -----
-----

C   For ENUT.LE.GRND--- reference
turbulent kinematic viscosity

C   Index
VIST

      RETURN

96 CONTINUE

C * ----- SECTION 6 -----
-----

C   For ENUL.LE.GRND--- reference
laminar kinematic viscosity

C   Index
VISL

```

```

CALL
GETYX(LBNAME('H1'),GHH,NYD,NXD)

DO 923 IY=1, NY

IG(1)=1

IG(2)=63

C ----- VISCOSITY
924 IG(3)=((IG(1)+IG(2))/2)

IF (GHH(IY,1).LT.GHTAB(IG(3)))
THEN

IG(2)=IG(3)

ELSE

IG(1)=IG(3)

ENDIF

IF((IG(2)-IG(1)).NE.1) GOTO
924

GEMU(IY,1)=GEMUTAB(IG(1))+(GEMUT
AB(IG(2))-GEMUTAB(IG(1)))*

&((GHH(IY,1)-
GHTAB(IG(1)))/(GHTAB(IG(2))-
GHTAB(IG(1))))

GRHO(IY,1)=GRHOTAB(IG(1))+(GRHOT
AB(IG(2))-GRHOTAB(IG(1)))*

&((GHH(IY,1)-
GHTAB(IG(1)))/(GHTAB(IG(2))-
GHTAB(IG(1))))

923
GENU(IY,1)=GEMU(IY,1)/GRHO(IY,1)

C CALL
SETYX(VISL,GENU,NYD,NXD)

CALL
SETYX(LBNAME('ENUL'),GENU,NYD,N
XD)

RETURN

97 CONTINUE

C * ----- SECTION 7 -----
-----

```

```

C For PRNDTL( ).LE.GRND--- laminar
PRANDTL nos., or diffusivity

C Index
LAMPR

IF (INDVAR.EQ.LBNAME('H1')) THEN

CALL
GETYX(LBNAME('H1'),GHH,NYD,NXD)

DO 925 IY=1, NY

IG(1)=1

IG(2)=63

C ----- PRNDTL
926 IG(3)=((IG(1)+IG(2))/2)

IF (GHH(IY,1).LT.GHTAB(IG(3)))
THEN

IG(2)=IG(3)

ELSE

IG(1)=IG(3)

ENDIF

IF((IG(2)-IG(1)).NE.1) GOTO 926

GTHK(IY,1)=GTHKTAB(IG(1))+(GTHKTA
B(IG(2))-GTHKTAB(IG(1)))*

&((GHH(IY,1)-
GHTAB(IG(1)))/(GHTAB(IG(2))-
GHTAB(IG(1))))

GEMU(IY,1)=GEMUTAB(IG(1))+(GEMUT
AB(IG(2))-GEMUTAB(IG(1)))*

&((GHH(IY,1)-
GHTAB(IG(1)))/(GHTAB(IG(2))-
GHTAB(IG(1))))

GCP(IY,1)=GCPTAB(IG(1))+(GCPTAB(I
G(2))-GCPTAB(IG(1)))*

&((GHH(IY,1)-
GHTAB(IG(1)))/(GHTAB(IG(2))-
GHTAB(IG(1))))

```

```

925
GPR(IY,1)=(GEMU(IY,1)*GCP(IY,1))/(GT
HK(IY,1))

      CALL
SETYX(LAMP,PR,GPR,NYD,NXD)

      END IF

      IF (INDVAR.EQ.C27) THEN

      CALL
GETYX(LBNAME('H1'),GHH,NYD,NXD)

      CALL
GETYX(LOW(H1),GTT,NYD,NXD)

      CALL
GETYX(HIGH(H1),GHHL,NYD,NXD)

      DO 933 IY=1, NY

      IG(1)=1

      IG(2)=63

C ----- PRNDTL

934  IG(3)=((IG(1)+IG(2))/2)

      IF (GHH(IY,1).LT.GHTAB(IG(3)))
THEN
      IG(2)=IG(3)

      ELSE

      IG(1)=IG(3)

      ENDIF

      IF((IG(2)-IG(1)).NE.1) GOTO 934

GSIG(IY,1)=GSIGTAB(IG(1))+GSIGTAB(
IG(2))-GSIGTAB(IG(1)))
      &((GHH(IY,1)-
GHTAB(IG(1)))/(GHTAB(IG(2))-
GHTAB(IG(1))))

GEMU(IY,1)=GEMUTAB(IG(1))+GEMUT
AB(IG(2))-GEMUTAB(IG(1)))
      &((GHH(IY,1)-
GHTAB(IG(1)))/(GHTAB(IG(2))-
GHTAB(IG(1))))

```

```

933
GPRPOT(IY,1)=GEMU(IY,1)/gsig(iy,1)

      IF (IZ.EQ.NZ) THEN

      DO 5933 IY=1, NY

      IG(4)=1

      IG(5)=63

      IG(1)=1

      IG(2)=63

C ----- PRNDTL

5934  IG(3)=((IG(1)+IG(2))/2)

      IF (GTT(IY,1).LT.GHTAB(IG(3)))
THEN
      IG(2)=IG(3)

      ELSE

      IG(1)=IG(3)

      ENDIF

      IF((IG(2)-IG(1)).NE.1) GOTO 5934

5938  IG(6)=((IG(4)+IG(5))/2)

      IF (GHH(IY,1).LT.GHTAB(IG(6)))
THEN
      IG(5)=IG(6)

      ELSE

      IG(4)=IG(6)

      ENDIF

      IF((IG(5)-IG(4)).NE.1) GOTO 5938

GSIG(IY,1)=GSIGTAB(IG(1))+GSIGTAB(
IG(2))-GSIGTAB(IG(1)))
      &((GTT(IY,1)-
GHTAB(IG(1)))/(GHTAB(IG(2))-
GHTAB(IG(1))))

GEMU(IY,1)=GEMUTAB(IG(4))+GEMUT
AB(IG(5))-GEMUTAB(IG(4)))

```

```

&((GHH(IY,1)-
GHTAB(IG(4)))/(GHTAB(IG(5))-
GHTAB(IG(4))))
5933
GPRPOT(IY,1)=GEMU(IY,1)/(gsig(iy,1))
    ENDIF
    IF (IZ.EQ.1) THEN
    DO 5433 IY=1, NY
    IG(4)=1
    IG(5)=63
    IG(1)=1
    IG(2)=63
C ----- PRNDTL
5434 IG(3)=((IG(1)+IG(2))/2)
    IF (GHHL(IY,1).LT.GHTAB(IG(3)))
THEN
    IG(2)=IG(3)
    ELSE
    IG(1)=IG(3)
    ENDIF
    IF((IG(2)-IG(1)).NE.1) GOTO 5434
5969 IG(6)=((IG(4)+IG(5))/2)
    IF (GHH(IY,1).LT.GHTAB(IG(6)))
THEN
    IG(5)=IG(6)
    ELSE
    IG(4)=IG(6)
    ENDIF
    IF((IG(5)-IG(4)).NE.1) GOTO 5969

GSIG(IY,1)=GSIGTAB(IG(1))+(GSIGTAB(
IG(2))-GSIGTAB(IG(1)))
    &((GHHL(IY,1)-
GHTAB(IG(1)))/(GHTAB(IG(2))-
GHTAB(IG(1))))
GEMU(IY,1)=GEMUTAB(IG(4))+(GEMUT
AB(IG(5))-GEMUTAB(IG(4)))
    &((GHH(IY,1)-
GHTAB(IG(4)))/(GHTAB(IG(5))-
GHTAB(IG(4))))
5433
GPRPOT(IY,1)=GEMU(IY,1)/(gsig(iy,1))
    ENDIF
    CALL
SETYX(lampr,GPRPOT,NYD,NXD)
    CALL
SETYX(LBNAME('C31'),GSIG,NYD,NXD)
    END IF
    RETURN
98 CONTINUE
C * ----- SECTION 8 -----
-----
C For PHINT( ).LE.GRND--- interface
value of first phase
C
Index FII1
RETURN
99 CONTINUE
C * ----- SECTION 9 -----
-----
C For PHINT( ).LE.GRND--- interface
value of second phase
C
Index FII2
RETURN
C*****
*****
C
C--- GROUP 10. Inter-phase-transfer
processes and properties
C
10 GO TO (101,102,103,104,105),ISC
101 CONTINUE

```



```

C * ----- SECTION 1 -----
-----
C   For CFIPS.LE.GRND--- inter-phase
friction coeff.

C                               Index
INTFRC

      RETURN

102 CONTINUE

C * ----- SECTION 2 -----
-----

C   For CMDOT.EQ.GRND- inter-phase
mass transfer Index INTMDT

c   l0mdt=l0f(intmdt)

c   l0c2=l0f(c2)

c   l0r1=l0f(9)

c   l0vol=l0f(LVOL)

c   do i=1,nx*ny

c       f(l0mdt+i)= - cmdta * (phint(c2) -
f(l0c2+i)) *

c   1           f(l0r1+i) * f(l0vol+i)

c   enddo

      RETURN

103 CONTINUE

C * ----- SECTION 3 -----
-----

C   For CINT( ).EQ.GRND--- phase1-to-
interface transfer coefficients

C                               Index
COI1

      RETURN

104 CONTINUE

C * ----- SECTION 4 -----
-----

C   For CINT( ).EQ.GRND--- phase2-to-
interface transfer coefficients

C                               Index
COI2

```

```

      RETURN

105 CONTINUE

C * ----- SECTION 5 -----
-----

C   For CVM.EQ.GRND--- virtual mass
coefficient

C                               Index
LD12

      RETURN

C*****
*****

C

C--- GROUP 11. Initialization of variable or
porosity fields

C                               Index VAL

11 CONTINUE

      RETURN

C*****
*****

C

C--- GROUP 12. Convection and diffusion
adjustments

C

12 CONTINUE

      RETURN

C*****
*****

C

C--- GROUP 13. Boundary conditions and
special sources

C                               Index for
Coefficient - CO

C                               Index for Value
- VAL

13 CONTINUE

```

```

GO TO
(130,131,132,133,134,135,136,137,138,1
39,1310,

11311,1312,1313,1314,1315,1316,1317,
1318,1319,1320,1321),ISC

130 CONTINUE

C----- SECTION 1 -----
coefficient = GRND

CALL
GETYX(LBNAME('H1'),GHH,NYD,NXD)

CALL
GETYX(LBNAME('C31'),GSIG,NYD,NXD)

L0FDZ=L0F(DZWNZ)

DO 9833 IY=1, NY

9833
GPRPOTC(IY,1)=2.*gsig(iy,1)/F(L0FDZ+I
Z)

CALL
SETYX(CO,GPRPOTC,NYD,NXD)

RETURN

131 CONTINUE

C----- SECTION 2 -----
coefficient = GRND1

RETURN

132 CONTINUE

C----- SECTION 3 -----
coefficient = GRND2

RETURN

133 CONTINUE

C----- SECTION 4 -----
coefficient = GRND3

CALL
GETYX(LBNAME('H1'),GHH,NYD,NXD)

DO 9813 IY=1, NY

IG(1)=1

IG(2)=63

```

```

C----- PRNDTL

9814 IG(3)=((IG(1)+IG(2))/2)

IF (GHH(IY,1).LT.GHTAB(IG(3)))
THEN
IG(2)=IG(3)

ELSE
IG(1)=IG(3)

ENDIF

IF((IG(2)-IG(1)).NE.1) GOTO 9814

GTHK(IY,1)=GTHKTAB(IG(1))+(GTHKTA
B(IG(2))-GTHKTAB(IG(1)))

&((GHH(IY,1)-
GHTAB(IG(1)))/(GHTAB(IG(2))-
GHTAB(IG(1))))

GEMU(IY,1)=GEMUTAB(IG(1))+(GEMUT
AB(IG(2))-GEMUTAB(IG(1)))

&((GHH(IY,1)-
GHTAB(IG(1)))/(GHTAB(IG(2))-
GHTAB(IG(1))))

GCP(IY,1)=GCPTAB(IG(1))+(GCPTAB(I
G(2))-GCPTAB(IG(1)))

&((GHH(IY,1)-
GHTAB(IG(1)))/(GHTAB(IG(2))-
GHTAB(IG(1))))

9813
GPRPR(IY,1)=1./((GEMU(IY,1)*GCP(IY,1
)))/(GTHK(IY,1))

CALL SETYX(CO,GPRPR,NYD,NXD)

RETURN

134 CONTINUE

C----- SECTION 5 -----
coefficient = GRND4

RETURN

135 CONTINUE

```

```

C----- SECTION 6 -----
coefficient = GRND5

      RETURN

136 CONTINUE

C----- SECTION 7 -----
coefficient = GRND6

      RETURN

137 CONTINUE

C----- SECTION 8 -----
coefficient = GRND7

      RETURN

138 CONTINUE

C----- SECTION 9 -----
coefficient = GRND8

      RETURN

139 CONTINUE

C----- SECTION 10 -----
coefficient = GRND9

      RETURN

1310 CONTINUE

C----- SECTION 11 -----
coefficient = GRND10

      RETURN

1311 CONTINUE

C----- SECTION 12 -----
--- value = GRND

      CALL FN21(VAL,C15,vol,0.0,1.0)

      RETURN

1312 CONTINUE

C----- SECTION 13 -----
--- value = GRND1

      CALL FN21(VAL,C13,vol,0.0,1.0)

      RETURN

1313 CONTINUE

C----- SECTION 14 -----
--- value = GRND2

      CALL

GETYX(LBNAME('H1'),GHH,NYD,NXD)

      CALL

GETYX(LBNAME('C7'),GC7,NYD,NXD)

      CALL

GETYX(LBNAME('C9'),GC9,NYD,NXD)

      CALL

GETYX(LBNAME('C31'),GSIG,NYD,NXD)

      DO 959 IY=1, NY

      IG(1)=1

      IG(2)=63

958  IG(3)=((IG(1)+IG(2))/2)

      IF (GHH(IY,1).LT.GHTAB(IG(3)))
      THEN

      IG(2)=IG(3)

      ELSE

      IG(1)=IG(3)

      ENDIF

      IF((IG(2)-IG(1)).NE.1) GOTO
958

      GTEM(IY,1)=GTTAB(IG(1))+(GTTAB(IG(
2))-GTTAB(IG(1)))*

      &((GHH(IY,1)-
GHTAB(IG(1)))/(GHTAB(IG(2))-
GHTAB(IG(1))))

      GJOULE(IY,1)=((GC7(IY,1)**2)+(GC9(IY,
1)**2))/(GSIG(IY,1))

959  gpr(iy,1)=gpr(iy,1)

      CALL

SETYX(VAL,GJOULE,NYD,NXD)

      CALL

SETYX(C10,GJOULE,NYD,NXD)

      CALL SETYX(C21,GTEM,NYD,NXD)

      RETURN

1314 CONTINUE

```

```

C----- SECTION 15 -----
---- value = GRND3

      CALL
      GETYX(LBNAME('H1'),GHH,NYD,NXD)

      L0FRG=L0F(RG2D)

      L0ZG=L0F(ZGNZ)

      L0VOL=L0F(VOL)

      DO 935 IY=1, NY

      IG(1)=1

      IG(2)=63

C ----- PRNDTL

936  IG(3)=((IG(1)+IG(2))/2)

      IF (GHH(IY,1).LT.GHTAB(IG(3)))
      THEN

      IG(2)=IG(3)

      ELSE

      IG(1)=IG(3)

      ENDIF

      IF((IG(2)-IG(1)).NE.1)  GOTO
936

      RG(6)=GRADTAB(IG(1))+(GRADTAB(IG(
2))-GRADTAB(IG(1)))

      &((GHH(IY,1)-
GHTAB(IG(1)))/(GHTAB(IG(2))-
GHTAB(IG(1))))

      if(isweep.eq.LSWEEP.AND.IZ.NE.1)
then

      do i=1, ny

      do k=1, 314

      gr2(i)=((f(l0frG+iy)*sin(float(k)*0.01))**2+(
F(l0frG+i)-
&f(l0frG+iy)*cos(float(k)*0.01))**2)**.5

      gdz2(i)=ABS(RG(50)-(RG(50)-
f(l0zG+iz)))

      GRIJ(I)=(GR2(I)**2+GDZ2(I)**2)**.5

```

```

GPSI(I)=GDZ2(I)/GRIJ(I)

GSUMA(I)=GSUMA(I)+(RG(6)*GPSI(I)*(2
.F(L0VOL+IY))
&/(12.566*GRIJ(I)**2))

      enddo

      IF (IZ.EQ.NZ-1.and.iy.eq.ny) THEN

      WRITE(69,*)F(L0FRG+I),GSUMA(I)

      ENDIF

      ENDDO

      ENDIF

935  GRAD(IY,1)=-RG(6)

      CALL SETYX(VAL,GRAD,NYD,NXD)

      CALL SETYX(C12,GRAD,NYD,NXD)

      RETURN

1315 CONTINUE

C----- SECTION 16 -----
---- value = GRND4

      CALL
      GETYX(LBNAME('H1'),GHH,NYD,NXD)

      CALL
      GETYX(LBNAME('C23'),GC23,NYD,NXD
)

      CALL
      GETYX(LBNAME('C25'),GC25,NYD,NXD
)

      CALL
      GETYX(LBNAME('C7'),GC7,NYD,NXD)

      CALL
      GETYX(LBNAME('C9'),GC9,NYD,NXD)

      DO 971 IY=1, NY

      if (iy.eq.1) then

      GBC5(IY,1)=2.1543367E-
04*(GC9(IY,1)*GC25(IY,1))

      else

      GBC5(IY,1)=2.1543367E-
04*((GC9(IY,1)

```

```

&*(GC25(IY,1)))+(GC7(IY,1)*(GC23(IY,1)
)))
endif
971 GBC5(iy,1)=GBC5(iy,1)
CALL SETYX(VAL,GBC5,NYD,NXD)
CALL SETYX(C14,GBC5,NYD,NXD)
RETURN
1316 CONTINUE
C----- SECTION 17 -----
--- value = GRND5
RETURN
1317 CONTINUE
C----- SECTION 18 -----
--- value = GRND6
RETURN
1318 CONTINUE
C----- SECTION 19 -----
--- value = GRND7
RETURN
1319 CONTINUE
C----- SECTION 20 -----
--- value = GRND8
CALL FN3(VAL, RG2D, -
8.8E+07, 0.0, 5.78567E+12)
RETURN
1320 CONTINUE
C----- SECTION 21 -----
--- value = GRND9
CALL
GETYX(LBNAME('H1'),GHH,NYD,NXD)
CALL
GETYX(HIGH(H1),GTT,NYD,NXD)
CALL
GETYX(HIGH(V1),GV1,NYD,NXD)
CALL
GETYX(HIGH(C9),GC9,NYD,NXD)

CALL
GETYX(LBNAME('C21'),GC21,NYD,NXD
)
L0FR=L0F(RV2D)
DO 4937 IY=1, NY
IG(1)=1
IG(2)=63
4938 IG(3)=((IG(1)+IG(2))/2)
IF (GTT(IY,1).LT.GHTAB(IG(3)))
THEN
IG(2)=IG(3)
ELSE
IG(1)=IG(3)
ENDIF
IF((IG(2)-IG(1)).NE.1) GOTO 4938

GEMU(IY,1)=GEMUTAB(IG(1))+GEMUT
AB(IG(2))-GEMUTAB(IG(1))*
&((GHH(IY,1)-
GHTAB(IG(1)))/(GHTAB(IG(2))-
GHTAB(IG(1))))

GRHO(IY,1)=GRHOTAB(IG(1))+GRHOT
AB(IG(2))-GRHOTAB(IG(1))*
&((GHH(IY,1)-
GHTAB(IG(1)))/(GHTAB(IG(2))-
GHTAB(IG(1))))

GBC2(IY,1)=-6.76*ABS(GC9(IY,1))
GBC3(IY,1)=-2.1543367E-
04*ABS(GC9(IY,1))
&*(1.2*GC21(IY,1)-1800.)
GBC1(IY,1)=-
.79*(((GEMU(IY,1)*GRHO(IY,1))/(2.4E-
05))**.11)*
&((2.4E-
05*abs(GV1(IY,1))/F(L0FR+IY))**.5)*
&ABS((GTT(IY,1)-6.254E+05))

```

```

C ***** SUBROUTINE THAT
COMPUTES THE HEAT FLUX DUE

c ***** ANODE FALL+WORK
FUNCTION, THOMPSON E & CONV

    IF (ISWEEP.EQ.LSWEEP-1) THEN

        WRITE(72,*)F(L0FR+IY),-
GBC1(IY,1),-GBC2(IY,1),-GBC3(IY,1),

        &-GBC1(IY,1)-GBC2(IY,1)-GBC3(IY,1)

    ENDIF

c ***** FINISH OF SUBROUTINE

4937
GBC(IY,1)=GBC1(IY,1)+GBC2(IY,1)+GB
C3(IY,1)

C4937 GBC(IY,1)=GBC1(IY,1)

    CALL SETYX(VAL,GBC,NYD,NXD)

    RETURN

1321 CONTINUE

C----- SECTION 2 -----
--- value = GRND10

    RETURN

C*****
*****

C

C--- GROUP 14. Downstream pressure for
PARAB=.TRUE.

C

    14 CONTINUE

    RETURN

C*****
*****

C* Make changes to data for GROUPS 15,
16, 17, 18 GROUP 19.

C*****
*****

C

C--- GROUP 19. Special calls to GROUND
from EARTH

```

```

C

    19          GO          TO
(191,192,193,194,195,196,197,198,199,1
910,1911),ISC

    191 CONTINUE

C * ----- SECTION 1 ---- Start
of time step.

    RETURN

    192 CONTINUE

C * ----- SECTION 2 ---- Start
of sweep.

    DO IY=1, NY

        GSUMA(IY)=0.0

    ENDDO

    RETURN

    193 CONTINUE

C * ----- SECTION 3 ---- Start
of iz slab.

    RETURN

    194 CONTINUE

C * ----- SECTION 4 ---- Start
of iterations over slab.

    RETURN

    1911 CONTINUE

C * ----- SECTION 11---- After
calculation of convection

C          fluxes for scalars,
and of volume

C          fractions, but before
calculation of

C          scalars or velocities

    RETURN

    199 CONTINUE

C * ----- SECTION 9 ---- Start
of solution sequence for

```

```

C                               a                               CALL FNDSY(C3,C27)
variable                               CALL FNDSZ(C5,C27)

      RETURN
1910 CONTINUE

C * ----- SECTION 10---- Finish
of solution sequence for

C                               a                               C computation of B from Ampere's law
variable                               DO IY=1, NY
      RETURN                               RG(99)=0.0
195 CONTINUE                               DO II=1, IY

C * ----- SECTION 5 ---- Finish
of iterations over slab.

      RETURN
196 CONTINUE

C * ----- SECTION 6 ---- Finish
of iz slab.

      RG(100)=4E-07*3.1416
      L0C27=L0F(C27)
      L0C21=L0F(C21)
      I0z=I0f(zwnz)
      L0C3=L0F(C3)
      L0C5=L0F(C5)
      L0C7=L0F(C7)
      L0C9=L0F(C9)
      L0C17=L0F(low(C7))
      L0C19=L0F(low(C9))
      L0C11=L0F(C11)
      L0C13=L0F(C13)
      L0C15=L0F(C15)
      L0FRG=L0F(RG2D)
      L0FR=L0F(RV2D)
      L0FRG=L0F(RG2D)
      L0FDR=L0F(DYV2D)

c derivation of potential with respect to r an
z

      RG(99)=RG(99)+F(L0C9+II)*F(L0FRG+II)
      *F(L0FDR+II)

      ENDDO

F(L0C11+IY)=(RG(100)/F(L0FRG+IY))*R
G(99)

      ENDDO
      CALL FN21(C7,C31,C3,0.0,-1.0)
      CALL FN21(C9,C31,C5,0.0,-1.0)

c computation of Lorentz's forces
      if (iz.ne.NZ) then
      do 458 iy=1, ny
      f(I0c13+iy)=f(I0c7+iy)*f(I0c11+iy)
      f(I0c15+iy)=-f(I0c9+iy)*f(I0c11+iy)
458 continue
      endif
      if (iz.eq.NZ) then
      do 4458 iy=1, ny
      f(I0c13+iy)=f(I0c7+iy)*f(I0c11+iy)
      f(I0c15+iy)=-f(I0c9+iy)*f(I0c11+iy)
4458 continue
      endif
      CALL FNDVDZ(C33,V1)

```

```

CALL FNDVDY(C19,V1)
C
C *** PRINT TEMPERATURE ALL FIELD
IF(isweep.eq.LSWEEP-1) THEN
call getyx(c21,gc21,nyd,nxd)
do iy=1, ny
if (iz.eq.NZ) then
write(67,*)f(L0FR+iy),-f(l0c11+iy)
endif
if (iz.eq.45) then
write(68,*)f(L0FR+iy),-f(l0c11+iy)
write(61,*)f(L0FR+iy),-f(l0c9+iy)
write(64,*)f(L0FR+iy),f(l0c7+iy)
endif
if (iz.eq.30) then
write(81,*)f(L0FR+iy),-f(l0c11+iy)
write(62,*)f(L0FR+iy),-f(l0c9+iy)
write(65,*)f(L0FR+iy),f(l0c7+iy)
endif
if (iz.eq.15) then
write(82,*)f(L0FR+iy),-f(l0c11+iy)
write(63,*)f(L0FR+iy),-f(l0c9+iy)
write(66,*)f(L0FR+iy),f(l0c7+iy)
endif
if (iz.eq.1) then
write(83,*)f(L0FR+iy),-f(l0c11+iy)
endif
IF (IY.EQ.10) THEN
write(84,*)-f(L0Z+IZ)+rg(50),-
f(l0c11+iy)
ENDIF
write(80,*)f(l0fr+iy),-
F(L0z+iz)+rg(50),f(l0c21+iy)
write(60,*)f(l0fr+iy),-F(L0z+iz)+rg(50),-
f(l0c11+iy)
enddo
endif
if (iz.eq.1) then
IF (ISWEEP.EQ.LSWEEP-1) THEN
CALL
GETYX(HIGH(H1),GTT,NYD,NXD)
CALL
GETYX(HIGH(V1),GV1,NYD,NXD)
CALL GETYX(H1,GHH,NYD,NXD)
CALL
GETYX(HIGH(C9),GC9,NYD,NXD)
call getyx(c21,gc21,nyd,nxd)
call getyx(c33,gc33,nyd,nxd)
call getyx(c19,gc19,nyd,nxd)
call getyx(p1,gp1,nyd,nxd)
call getyx(visl,gemu,nyd,nxd)
call getyx(den1,grho,nyd,nxd)
do iy=1, ny
gtau(iy,1)=-
GEMU(IY,1)*GRHO(IY,1)*gc33(iy,1)
write(70,*)f(l0fr+iy),GTAU(IY,1)
GBC1(IY,1)=(.7904)*(((GEMU(IY,1)*GRH
O(IY,1)**2)
&/((1.8702E-05)**.11)*((1.8702E-
05*abs(gV1(iy,1)/
&F(L0FR+IY)))**.5)*ABS((GTT(IY,1)-
5.2E+05))
GBC(IY,1)=(.7904)*(((GEMU(IY,1)*GRHO
(IY,1)**2)
&/((2.4E-05)**.11)*(2.4E-
05*abs(gC19(iy,1))**.5)
&*ABS(GTT(IY,1)-6.254E+05)

```



```

write(75,*)f(l0fr+iy),GBC1(iy,1),GBC(IY,1)

  write(79,*)f(l0fr+iy),GP1(IY,1)

  write(77,*)f(l0fr+iy),-GC9(IY,1)

  write(74,*)f(l0fr+iy),GC21(IY,1)

  enddo

endif

endif

IF (ISWEEP.EQ.LSWEEP-1) THEN

  call getyx(W1,GW1,nyd,nxd)

  call getyx(P1,GP1,nyd,nxd)

  call getyx(C21,GC21,nyd,nxd)

  call getyx(C9,GC9,nyd,nxd)

  write(71,*)f(l0fr+1),-
F(L0z+iz)+rg(50),GC21(1,1)

  write(73,*)f(l0fr+1),-F(L0z+iz)+rg(50),-
GW1(1,1)

  write(76,*)f(l0fr+1),-F(L0z+iz)+rg(50),-
GC9(1,1)

  write(78,*)f(l0fr+1),-
F(L0z+iz)+rg(50),GP1(1,1)

  ENDIF

  RETURN

197 CONTINUE

C * ----- SECTION 7 ---- Finish
of sweep.

  RETURN

198 CONTINUE

C * ----- SECTION 8 ---- Finish
of time step.

C

```

```

RETURN

C*****
*****

C

C--- GROUP 20. Preliminary print-out

C

20 CONTINUE

RETURN

C*****
*****

C--- GROUP 21. Special print-out to
screen

21 CONTINUE

GO TO 25

C*****
*****

C* Make changes to data for GROUP 22
only in GROUP 19.

C*****
*****

C

C--- GROUP 23. Field print-out and plot
control

23 CONTINUE

RETURN

C*****
*****

C

C--- GROUP 24. Dumps for restarts

C

24 CONTINUE

END

```

- Anexo 4. Archivo Ground.for, He**

C.... FILE NAME GROUND.FTN-----

-----240802

SUBROUTINE GROUND

include 'farray'

INCLUDE 'satear'

INCLUDE 'grdloc'

INCLUDE 'satgrd'

INCLUDE 'grdear'

INCLUDE 'grdbfc'

COMMON/GENI/NXNY,IGFIL1(8),NFM,I
GF(21),IPRL,IBTAU,ILTLS,IGFIL(15),

1

ITEM1,ITEM2,ISPH1,ISPH2,ICON1,ICON
2,IPRPS,IRADX,IRADY,IRADZ,IVFOL

COMMON/DRHODP/ITEMP,IDEN/DVMO
D/IDVCGR

COMMON/HBASE/IH01,IH02,KH01,KH0
1H,KH01L,KH02,KH02H,KH02L,L0H012

CXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
XXXXXXXXXXXXX USER SECTION
STARTS:

C

C 1 Set dimensions of data-for-GROUND
arrays here. WARNING: the

C corresponding arrays in the MAIN
program of the satellite

C and EARTH must have the same
dimensions.

PARAMETER (NLG=100, NIG=200,
NRG=200, NCG=100)

PARAMETER
(NYD=130,NXD=1,NZD=130,NTAB=63)

C

COMMON/LGRND/LG(NLG)/IGRND/IG(
NIG)/RGRND/RG(NRG)/CGRND/CG(NC
G)

LOGICAL LG

CHARACTER*4 CG

C

C 2 User dimensions own arrays here, for
example:

C DIMENSION
GUH(10,10),GUC(10,10),GUX(10,10),GU
Z(10)

DIMENSION
GC7(NYD,NXD),GC9(NYD,NXD),GJOUL
E(NYD,NXD),RCOS(NYD)

DIMENSION
GRHO(NYD,NXD),GRHOTAB(NTAB),GT
T(NYD,NXD),GTTAB(NTAB)

DIMENSION
GEMUTAB(NTAB),GENU(NYD,NXD),GE
MU(NYD,NXD),RA(NYD)

DIMENSION
GTHKTAB(NTAB),GTHK(NYD,NXD),GR
ADTAB(NTAB),GRAD(NYD,NXD)

DIMENSION
GSIGTAB(NTAB),GSIG(NYD,NXD),GCP(
NYD,NXD),GCPTAB(NTAB)

DIMENSION
GBC(NYD,NXD),GBC1(NYD,NXD),GHH(
NYD,NXD),GHTAB(NTAB)

DIMENSION
GV1(NYD,NXD),GC13(NYD,NXD),GC15(
NYD,NXD),GPR(NYD,NXD)

DIMENSION
GC21(NYD,NXD),GC23(NYD,NXD),GC2
5(NYD,NXD),GBC3(NYD,NXD)

DIMENSION
GSIDTAB(NTAB),GSID(NYD,NXD),GBC2
(NYD,NXD)

DIMENSION
GPRPOT(NYD,NXD),GC31(NYD,NXD)

1 9.58E-04, 9.34E-04, 9.12E-04,
8.91E-04, 8.72E-04, 8.55E-04,

DIMENSION
GC33(NYD,NXD),GTAU(NYD,NXD),GHT
ABR(63),GHHL(NYD,NXD)

1 8.39E-04, 8.23E-04, 8.23E-04/

DIMENSION
GC27(NYD,NXD),GPSI(NYD+1),GW1(N
YD,NXD),GSUMA(NYD+1)

C----- ENTHALPY

DATA GHTAB

T /9.61E+03, 9.61E+03, 1.05E+06,
3.64E+06, 6.24E+06, 8.84E+06,

DIMENSION
GDZ2(NYD+1),GRIJ(NYD+1),GR2(NYD+
1),GP1(NYD,NXD)

T 1.14E+07, 1.40E+07, 1.66E+07,
1.92E+07, 2.18E+07, 2.44E+07,

DIMENSION
GC19(NYD,NXD),GPRPOTC(NYD,NXD)

T 2.70E+07, 2.96E+07, 3.22E+07,
3.48E+07, 3.74E+07, 4.00E+07,

DIMENSION
GTEM(NYD,NXD),GPRPR(NYD,NXD),G
BC5(NYD,NXD)

T 4.26E+07, 4.52E+07, 4.78E+07,
5.05E+07, 5.31E+07, 5.59E+07,

C

T 5.87E+07, 6.17E+07, 6.49E+07,
6.85E+07, 7.26E+07, 7.74E+07,

C 3 User places his data statements here,
for example:

T 8.30E+07, 8.98E+07, 9.81E+07,
1.08E+08, 1.21E+08, 1.36E+08,

C DATA NXDIM,NYDIM/10,10/

DATA GRHOTAB

1 /1.63E-01, 1.63E-01, 9.76E-02,
4.88E-02, 3.25E-02, 2.44E-02,

T 1.54E+08, 1.76E+08, 2.03E+08,
2.34E+08, 2.70E+08, 3.10E+08,

1 1.95E-02, 1.63E-02, 1.39E-02,
1.22E-02, 1.08E-02, 9.76E-03,

T 3.56E+08, 4.04E+08, 4.56E+08,
5.08E+08, 5.58E+08, 6.06E+08,

1 8.87E-03, 8.13E-03, 7.50E-03,
6.97E-03, 6.50E-03, 6.10E-03,

T 6.06E+08, 6.50E+08, 6.89E+08,
7.22E+08, 7.51E+08, 7.76E+08,

1 5.74E-03, 5.42E-03, 5.13E-03,
4.88E-03, 4.64E-03, 4.43E-03,

T 7.96E+08, 8.14E+08, 8.29E+08,
8.42E+08, 8.54E+08, 8.64E+08,

1 4.24E-03, 4.06E-03, 3.89E-03,
3.74E-03, 3.59E-03, 3.45E-03,

T 8.73E+08, 8.89E+08, 8.89E+08/

1 3.32E-03, 3.19E-03, 3.06E-03,
2.93E-03, 2.81E-03, 2.68E-03,

C----- TEMPERATURE

DATA GTTAB

O /300.,
300.,500.,1000.,1500.,2000.,2500.,3000.,
3500.,

1 2.55E-03, 2.42E-03, 2.28E-03,
2.15E-03, 2.01E-03, 1.88E-03,

O
4000.,4500.,5000.,5500.,6000.,6500.,700
0.,7500.,

1 1.76E-03, 1.64E-03, 1.53E-03,
1.43E-03, 1.34E-03, 1.26E-03,

O
8000.,8500.,9000.,9500.,10000.,10500.,1
1000.,11500.,

1 1.20E-03, 1.14E-03, 1.09E-03,
1.05E-03, 1.02E-03, 9.86E-04,

O
12000.,12500.,13000.,13500.,14000.,145
00.,15000.,

O
15500.,16000.,16500.,17000.,17500.,180
00.,18500.,

O
19000.,19500.,20000.,20500.,21000.,215
00.,22000.,

O
22500.,23000.,23500.,24000.,24500.,250
00.,25500.,

O
26000.,26500.,27000.,27500.,28000.,285
00.,29000.,

O 29500.,30000.,30000./

C----- VISCOSITY

DATA GEMUTAB

2 /1.97E-05, 1.97E-05, 2.81E-05,
4.61E-05, 6.28E-05, 7.83E-05,

2 9.34E-05, 1.07E-04, 1.21E-04,
1.33E-04, 1.45E-04, 1.54E-04,

2 1.67E-04, 1.80E-04, 1.92E-04,
2.05E-04, 2.17E-04, 2.29E-04,

2 2.41E-04, 2.53E-04, 2.66E-04,
2.78E-04, 2.90E-04, 3.01E-04,

2 3.13E-04, 3.25E-04, 3.36E-04,
3.47E-04, 3.56E-04, 3.64E-04,

2 3.70E-04, 3.72E-04, 3.69E-04,
3.60E-05, 3.44E-04, 3.22E-04,

2 2.94E-04, 2.63E-04, 2.30E-04,
1.97E-04, 1.66E-04, 1.38E-04,

2 1.14E-04, 9.31E-05, 7.58E-05,
6.17E-05, 5.04E-05, 4.15E-04,

2 3.46E-05, 2.93E-05, 2.52E-05,
2.22E-05, 1.99E-05, 1.82E-05,

2 1.70E-05, 1.62E-05, 1.56E-05,
1.52E-05, 1.50E-05, 1.50E-05,

2 1.50E-05, 1.52E-05, 1.52E-05 /

C----- THERMAL
CONDUCTIVITY

DATA GTHKTAB

3 /0.1537, 0.1537, 0.2189, 0.3593,
0.4890, 0.6101, 0.7274,

3 0.8368, 0.9404, 1.0365, 1.1260,
1.2028, 1.3014, 1.3994,

3 1.4966, 1.5931, 1.6891, 1.7848,
1.8807, 1.9773, 2.0760,

3 2.1787, 2.2887, 2.4099, 2.5471,
2.7055, 2.8912, 3.1103,

3 3.3679, 3.6687, 4.0154, 4.4073,
4.8552, 5.3345, 5.8493,

3 6.4092, 7.0285, 7.7137, 8.4572,
9.2368, 10.008, 10.708,

3 11.262, 11.597, 11.662, 11.445,
10.977, 10.333, 9.5913,

3 8.8494, 8.1635, 7.5736, 7.0960,
6.7320, 6.4740, 6.3077,

3 6.2171, 6.1895, 6.2134, 6.2785,
6.3769, 6.5021, 6.5021/

c----- SPECIFIC HEAT

DATA GCPTAB

4 /5.19E+03, 5.19E+03, 5.19E+03,
5.19E+03, 5.19E+03, 5.19E+03,

4 5.19E+03, 5.19E+03, 5.19E+03,
5.19E+03, 5.19E+03, 5.19E+03,

4 5.19E+03, 5.19E+03, 5.19E+03,
5.19E+03, 5.19E+03, 5.20E+03,

4 5.20E+03, 5.22E+03, 5.24E+03,
5.30E+03, 5.39E+03, 5.55E+03,

4 5.81E+03, 6.21E+03, 6.79E+03,
7.62E+03, 8.77E+03, 1.03E+04,

4 1.23E+04, 1.50E+04, 1.83E+04,
2.24E+04, 2.73E+04, 3.32E+04,

4 4.01E+04, 4.81E+04, 5.69E+04,
6.65E+04, 7.63E+04, 8.58E+04,

4 9.41E+04, 1.00E+05, 1.03E+05,
1.03E+05, 9.88E+04, 9.17E+04,

4 8.25E+04, 7.24E+04, 6.24E+04,
5.31E+04, 4.50E+04, 3.81E+04,

4 3.25E+04, 2.79E+04, 2.43E+04,
2.14E+04, 1.92E+04, 1.74E+04,

4 1.60E+04, 1.50E+04, 1.50E+04/

C----- RADIATION-
CORRECTED FOR ABSORPTION

C----- (EVANS & TANKIN)

DATA GRADTAB

O /0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0,0.0,

O 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0,

O 0.0, 0.0, 0.0, 4.71238898,
12.56663706,

O 585.21588, 2309.82458,
7600.14095, 21906.9539,

O 57182.0128, 139700.342,
334303.157, 780396.748,

O 1806792.77, 4080426.2,
8878643.49, 18691219.7,

O 38066049.9, 75002383.,
142967598., 263667588.,

O 470422084., 812001170.,
1361566260., 2190695390.,

O 3312746620., 4846346490.,
7060792320., 10034749590.,

O 13683520960., 18202387830.,
24113608570., 30904475250.,

O 36918740230., 43022226440.,
51395199180., 59892578990.,

O 64788436980., 68366082690.,
73648984900., 78039674790.,

O 78686842880., 78039674790.,
78039674790., 78039674790.,

O 78039674790., 78039674790.,
78039674790.,

O 78039674790., 78039674790.,
78039674790., 78039674790./

C-----ELECTRICAL
CONDUCTIVITY

DATA GSIGTAB

6 /3.80E-06, 3.80E-06, 2.85E-06,
1.92E-06, 1.52E-06, 1.29E-06,

6 1.14E-06, 1.03E-06, 9.47E-07,
8.80E-07, 8.26E-07, 2.16E-05,

6 3.10E-04, 2.87E-03, 1.90E-02,
9.62E-02, 3.94E-01, 1.3565, 4.0380,

6 10.614, 25.003, 53.376, 104.22,
187.90, 315.95, 500.11, 750.58,

6 1073.7, 1469.6, 1932.3, 2450.7,
3011.2, 3600.6, 4207.0, 4821.2,

6 5436.1, 6046.4, 6648.2, 7239.0,
7815.7, 8376.0, 8917.7, 9438.8,

6 9937.3, 10412., 10863., 11290.,
11694., 12079., 12446., 12799.,

6 13139., 13471., 13795., 14113.,
14428., 14739., 15049., 15357.,

6 15665., 15972., 16278., 16278./

C 4 Insert own coding below as desired,
guided by GREX examples.

C Note that the satellite-to-GREX special
data in the labelled

C COMMONs /RSG/, /ISG/, /LSG/ and
/CSG/ can be included and

C used below but the user must check
GREX for any conflicting

C uses. The same comment applies to
the EARTH-spare working

C arrays EASP1, EASP2,....EASP20. In
addition to the EASPs,

C there are 10 GRound-earth SPare
arrays, GRSP1,....,GRSP10,

C supplied solely for the user, which are not used by GREX. If	OPEN(63,FILE='JZ3.txt',STATUS='unkno wn')
C the call to GREX has been deactivated then all of the arrays	OPEN(64,FILE='JR1.txt',STATUS='unkno wn')
C may be used without reservation.	OPEN(65,FILE='JR2.txt',STATUS='unkno wn')
C	OPEN(66,FILE='JR3.txt',STATUS='unkno wn')
c***** *****	OPEN(67,FILE='B1.txt',STATUS='unkno wn')
c	OPEN(68,FILE='B2.txt',STATUS='unkno wn')
IXL=IABS(IXL)	
IF(IGR.EQ.13) GO TO 13	
IF(IGR.EQ.19) GO TO 19	
GO TO	
(1,2,3,4,5,6,25,8,9,10,11,12,13,14,25,25, 25,25,19,20,25,	open(69,FILE='RADHEAT.txt',STATUS=' unknown')
121,23,24),IGR	
25 CONTINUE	
RETURN	open(80,FILE='temp.txt',STATUS='unkno wn')
C***** *****	
C	open(71,FILE='TY0.txt',STATUS='unkno wn')
C--- GROUP 1. Run title and other preliminaries	
C	open(72,FILE='Q.txt',STATUS='unknown')
1 GO TO (1001,1002,1003),ISC	
C	open(73,file='W1Y0.txt',STATUS='unkno wn')
1001 CONTINUE	
OPEN(60,FILE='B.txt',STATUS='unknow n')	open(74,file='TZMX.txt',STATUS='unkno wn')
OPEN(61,FILE='JZ1.txt',STATUS='unkno wn')	open(75,file='QZMX.txt',STATUS='unkno wn')
OPEN(62,FILE='JZ2.txt',STATUS='unkno wn')	

```

open(76,file='JZY0.txt',STATUS='unknown')
CALL MAKE (DZGNZ)
CALL MAKE (DZWNZ)
CALL MAKE (RG2D)

open(77,file='JZZMX.txt',STATUS='unknown')
CALL MAKE (YG2D)
CALL MAKE (RV2D)
CALL MAKE (DYG2D)

open(78,file='P1Y0.txt',STATUS='unknown')
CALL MAKE (DYV2D)
CALL MAKE (VOL)

open(79,file='P1ZMX.txt',STATUS='unknown')
RETURN

open(70,file='TAUZMX.txt',STATUS='unknown')
C * -----GROUP 1 SECTION 3 -----
-----
C--- Use this group to create storage via
GXMAKE which it is not

open(81,file='B3.txt',STATUS='unknown')
C necessary to dump to PHI (or PHIDA)
for restarts

open(82,file='B4.txt',STATUS='unknown')
C

1003 CONTINUE

open(83,file='B5.txt',STATUS='unknown')
GO TO 25

1002 CONTINUE

open(84,file='BY10.txt',STATUS='unknown')
RETURN

C
C*****
*****

C * -----GROUP 1 SECTION 3 -----
-----
C--- Use this group to create storage via
MAKE, GXMAKE etc which it is

C essential to dump to PHI (or PHIDA)
for restarts

C User may here change message
transmitted to the VDU screen

C*****
*****

IF(.NOT.NULLPR.AND.IDVCGR.EQ.0)
1 CALL WRYT40('GROUND file is
GROUND.F of: 230597 ')

CALL MAKE (ZGNZ)
CALL MAKE (ZWNZ)

C
C--- GROUP 2. Transience; time-step
specification

C
2 CONTINUE

RETURN

C*****
*****

C
C--- GROUP 3. X-direction grid
specification

C
3 CONTINUE

```

```

RETURN
C*****
*****
C
C--- GROUP 4. Y-direction grid
specification
C
4 CONTINUE
RETURN
C*****
*****
C
C--- GROUP 5. Z-direction grid
specification
C
5 CONTINUE
RETURN
C*****
*****
C
C--- GROUP 6. Body-fitted coordinates or
grid distortion
C
6 CONTINUE
RETURN
C*****
*****
C * Make changes for this group only in
group 19.
C--- GROUP 7. Variables stored, solved &
named
C*****
*****
C
C--- GROUP 8. Terms (in differential
equations) & devices

```

```

C
8 GO TO
(81,82,83,84,85,86,87,88,89,810,811,812
,813,814,815,816)
1,ISC
81 CONTINUE
C * ----- SECTION 1 -----
-----
C For U1AD.LE.GRND--- phase 1
additional velocity. Index VELAD
RETURN
82 CONTINUE
C * ----- SECTION 2 -----
-----
C For U2AD.LE.GRND--- phase 2
additional velocity. Index VELAD
RETURN
83 CONTINUE
C * ----- SECTION 3 -----
-----
C For V1AD.LE.GRND--- phase 1
additional velocity. Index VELAD
RETURN
84 CONTINUE
C * ----- SECTION 4 -----
-----
C For V2AD.LE.GRND--- phase 2
additional velocity. Index VELAD
RETURN
85 CONTINUE
C * ----- SECTION 5 -----
-----
C For W1AD.LE.GRND--- phase 1
additional velocity. Index VELAD
RETURN
86 CONTINUE

```


C * ----- SECTION 6 -----

C For W2AD.LE.GRND--- phase 2
additional velocity. Index VELAD

RETURN

87 CONTINUE

C * ----- SECTION 7 ----
Volumetric source for gala

RETURN

88 CONTINUE

C * ----- SECTION 8 ----
Convection fluxes

C--- Entered when UCONV =.TRUE.;
block-location indices are:

C LD11 for east and north (accessible at
the same time),

C LD12 for west and south (accessible
at the same time),

C LD2 for high (which becomes low for
the next slab).

C User should provide INDVAR and
NDIREC IF's as appropriate.

RETURN

89 CONTINUE

C * ----- SECTION 9 ----
Diffusion coefficients

C--- Entered when UDIFF =.TRUE.; block-
location indices are LAE

C for east, LAW for west, LAN for north,
LAS for

C south, LD11 for high, and LD11 for low.

C User should provide INDVAR and
NDIREC IF's as above.

C EARTH will apply the DIFCUT and
GP12 modifications after the user

C has made his settings.

C

RETURN

810 CONTINUE

C * ----- SECTION 10 ---
Convection neighbours

RETURN

811 CONTINUE

C * ----- SECTION 11 ---
Diffusion neighbours

RETURN

812 CONTINUE

C * ----- SECTION 12 ---
Linearised sources

RETURN

813 CONTINUE

C * ----- SECTION 13 ---
Correction coefficients

RETURN

814 CONTINUE

C * ----- SECTION 14 --- User's
own solver

RETURN

815 CONTINUE

C * ----- SECTION 15 ---
Change solution

RETURN

816 CONTINUE

C * ----- SECTION 16 ---
Change DVEL/DPs

RETURN

C

C * See the equivalent section in GREX
for the indices to be

C used in sections 7 - 16

C

C * Make all other group-8 changes in
GROUP 19.

```

C*****
*****

C

C--- GROUP 9. Properties of the medium
(or media)

C

C The sections in this group are arranged
sequentially in their

C order of calling from EARTH. Thus, as
can be seen from below,

C the temperature sections (10 and 11)
precede the density

C sections (1 and 3); so, density formulae
can refer to

C temperature stores already set.

      9          GO          TO
(91,92,93,94,95,96,97,98,99,900,901,902
,903,904,905),ISC

C*****
*****

900 CONTINUE

C * ----- SECTION 10 -----
-----

C For TMP1.LE.GRND----- phase-1
temperature Index TEMP1

      RETURN

901 CONTINUE

C * ----- SECTION 11 -----
-----

C For TMP2.LE.GRND----- phase-2
temperature Index TEMP2

      RETURN

902 CONTINUE

C * ----- SECTION 12 -----
-----

C For EL1.LE.GRND----- phase-1
length scale Index LEN1

```

```

      RETURN

903 CONTINUE

C * ----- SECTION 13 -----
-----

C For EL2.LE.GRND----- phase-2
length scale Index LEN2

      RETURN

904 CONTINUE

C * ----- SECTION 14 -----
-----

C For SOLVE(TEM1)----- phase-1
specific heat

      RETURN

905 CONTINUE

C * ----- SECTION 15 -----
-----

C For SOLVE(TEM2)----- phase-2
specific heat

      RETURN

91 CONTINUE

C * ----- SECTION 1 -----
-----

C For RHO1.LE.GRND--- density for
phase 1 Index DEN1

      CALL
GETYX(LBNAME('H1'),GHH,NYD,NXD)

      DO 921 IY=1, NY

      IG(1)=1

      IG(2)=63

C ----- DENSITY

922 IG(3)=((IG(1)+IG(2))/2)

      IF (GHH(IY,1).LT.GHTAB(IG(3)))
THEN

      IG(2)=IG(3)

      ELSE

      IG(1)=IG(3)

```

```

      ENDIF
      IF((IG(2)-IG(1)).NE.1) GOTO
922
921
GRHO(IY,1)=GRHOTAB(IG(1))+(GRHOT
AB(IG(2))-GRHOTAB(IG(1)))*
      &((GHH(IY,1)-
GHTAB(IG(1)))/(GHTAB(IG(2))-
GHTAB(IG(1))))
      CALL
SETYX(LBNAME('RHO1'),GRHO,NYD,N
XD)
      RETURN
92 CONTINUE
C * ----- SECTION 2 -----
-----
C      For DRH1DP.LE.GRND---
D(LN(DEN))/DP for phase 1
C      Index
D1DP
      RETURN
93 CONTINUE
C * ----- SECTION 3 -----
-----
C      For RHO2.LE.GRND--- density for
phase 2      Index DEN2
      RETURN
94 CONTINUE
C * ----- SECTION 4 -----
-----
C      For DRH2DP.LE.GRND---
D(LN(DEN))/DP for phase 2
C      Index
D2DP
      RETURN
95 CONTINUE
C * ----- SECTION 5 -----
-----

```

```

C      For ENUT.LE.GRND--- reference
turbulent kinematic viscosity
C      Index
VIST
      RETURN
96 CONTINUE
C * ----- SECTION 6 -----
-----
C      For ENUL.LE.GRND--- reference
laminar kinematic viscosity
C      Index
VISL
      CALL
GETYX(LBNAME('H1'),GHH,NYD,NXD)
      DO 923 IY=1, NY
      IG(1)=1
      IG(2)=63
C ----- VISCOSITY
924 IG(3)=((IG(1)+IG(2))/2)
      IF (GHH(IY,1).LT.GHTAB(IG(3)))
THEN
      IG(2)=IG(3)
      ELSE
      IG(1)=IG(3)
      ENDIF
      IF((IG(2)-IG(1)).NE.1) GOTO
924
GEMU(IY,1)=GEMUTAB(IG(1))+(GEMUT
AB(IG(2))-GEMUTAB(IG(1)))*
      &((GHH(IY,1)-
GHTAB(IG(1)))/(GHTAB(IG(2))-
GHTAB(IG(1))))
GRHO(IY,1)=GRHOTAB(IG(1))+(GRHOT
AB(IG(2))-GRHOTAB(IG(1)))*

```

```

&((GHH(IY,1)-
GHTAB(IG(1)))/(GHTAB(IG(2))-
GHTAB(IG(1))))
923
GENU(IY,1)=GEMU(IY,1)/GRHO(IY,1)
C                                CALL
SETYX(VISL,GENU,NYD,NXD)
CALL
SETYX(LBNAME('ENUL'),GENU,NYD,N
XD)
RETURN
97 CONTINUE
C * ----- SECTION 7 -----
-----
C For PRNDTL( ).LE.GRND--- laminar
PRANDTL nos., or diffusivity
C                                Index
LAMPR
IF (INDVAR.EQ.LBNAME('H1')) THEN
CALL
GETYX(LBNAME('H1'),GHH,NYD,NXD)
DO 925 IY=1, NY
IG(1)=1
IG(2)=63
C ----- PRNDTL
926 IG(3)=((IG(1)+IG(2))/2)
IF (GHH(IY,1).LT.GHTAB(IG(3)))
THEN
IG(2)=IG(3)
ELSE
IG(1)=IG(3)
ENDIF
IF((IG(2)-IG(1)).NE.1) GOTO 926
GTHK(IY,1)=GTHKTAB(IG(1))+GTHKTA
B(IG(2))-GTHKTAB(IG(1))*

```

```

&((GHH(IY,1)-
GHTAB(IG(1)))/(GHTAB(IG(2))-
GHTAB(IG(1))))
GEMU(IY,1)=GEMUTAB(IG(1))+(GEMUT
AB(IG(2))-GEMUTAB(IG(1)))*
&((GHH(IY,1)-
GHTAB(IG(1)))/(GHTAB(IG(2))-
GHTAB(IG(1))))
GCP(IY,1)=GCPTAB(IG(1))+(GCPTAB(I
G(2))-GCPTAB(IG(1)))*
&((GHH(IY,1)-
GHTAB(IG(1)))/(GHTAB(IG(2))-
GHTAB(IG(1))))
925
GPR(IY,1)=(GEMU(IY,1)*GCP(IY,1))/(GT
HK(IY,1))
CALL
SETYX(LAMPR,GPR,NYD,NXD)
END IF
IF (INDVAR.EQ.C27) THEN
CALL
GETYX(LBNAME('H1'),GHH,NYD,NXD)
CALL
GETYX(LOW(H1),GTT,NYD,NXD)
CALL
GETYX(HIGH(H1),GHHL,NYD,NXD)
DO 933 IY=1, NY
IG(1)=1
IG(2)=63
C ----- PRNDTL
934 IG(3)=((IG(1)+IG(2))/2)
IF (GHH(IY,1).LT.GHTAB(IG(3)))
THEN
IG(2)=IG(3)
ELSE
IG(1)=IG(3)

```

```

        ENDIF
        IF((IG(2)-IG(1)).NE.1) GOTO 934

        GSIG(IY,1)=GSIGTAB(IG(1))+(GSIGTAB(
        IG(2))-GSIGTAB(IG(1)))*
        &((GHH(IY,1)-
        GHTAB(IG(1)))/(GHTAB(IG(2))-
        GHTAB(IG(1))))

        GEMU(IY,1)=GEMUTAB(IG(1))+(GEMUT
        AB(IG(2))-GEMUTAB(IG(1)))*
        &((GHH(IY,1)-
        GHTAB(IG(1)))/(GHTAB(IG(2))-
        GHTAB(IG(1))))

        933
        GPRPOT(IY,1)=GEMU(IY,1)/gsig(iy,1)

        IF (IZ.EQ.NZ) THEN
            DO 5933 IY=1, NY
                IG(4)=1
                IG(5)=63
                IG(1)=1
                IG(2)=63
            C ----- PRNDTL
            5934 IG(3)=((IG(1)+IG(2))/2)
                IF (GTT(IY,1).LT.GHTAB(IG(3)))
                THEN
                    IG(2)=IG(3)
                ELSE
                    IG(1)=IG(3)
                ENDIF
                IF((IG(2)-IG(1)).NE.1) GOTO 5934
            5938 IG(6)=((IG(4)+IG(5))/2)
                IF (GHH(IY,1).LT.GHTAB(IG(6)))
                THEN
                    IG(5)=IG(6)
                ELSE
                    IG(4)=IG(6)
                ENDIF
                IF((IG(5)-IG(4)).NE.1) GOTO 5938

                GSIG(IY,1)=GSIGTAB(IG(1))+(GSIGTAB(
                IG(2))-GSIGTAB(IG(1)))*
                &((GTT(IY,1)-
                GHTAB(IG(1)))/(GHTAB(IG(2))-
                GHTAB(IG(1))))

                GEMU(IY,1)=GEMUTAB(IG(4))+(GEMUT
                AB(IG(5))-GEMUTAB(IG(4)))*
                &((GHH(IY,1)-
                GHTAB(IG(4)))/(GHTAB(IG(5))-
                GHTAB(IG(4))))

                5933
                GPRPOT(IY,1)=GEMU(IY,1)/gsig(iy,1)
            ENDIF
            IF (IZ.EQ.1) THEN
                DO 5433 IY=1, NY
                    IG(4)=1
                    IG(5)=63
                    IG(1)=1
                    IG(2)=63
                C ----- PRNDTL
                5434 IG(3)=((IG(1)+IG(2))/2)
                    IF (GHHL(IY,1).LT.GHTAB(IG(3)))
                    THEN
                        IG(2)=IG(3)
                    ELSE
                        IG(1)=IG(3)
                    ENDIF
                    IF((IG(2)-IG(1)).NE.1) GOTO 5434
                5969 IG(6)=((IG(4)+IG(5))/2)
                    IF (GHH(IY,1).LT.GHTAB(IG(6)))
                    THEN

```

```

IG(5)=IG(6)
ELSE
IG(4)=IG(6)
ENDIF
IF((IG(5)-IG(4)).NE.1) GOTO 5969

GSIG(IY,1)=GSIGTAB(IG(1))+(GSIGTAB(
IG(2))-GSIGTAB(IG(1))) *
&((GHHL(IY,1)-
GHTAB(IG(1)))/(GHTAB(IG(2))-
GHTAB(IG(1))))

GEMU(IY,1)=GEMUTAB(IG(4))+(GEMUT
AB(IG(5))-GEMUTAB(IG(4))) *
&((GHH(IY,1)-
GHTAB(IG(4)))/(GHTAB(IG(5))-
GHTAB(IG(4))))

5433
GPRPOT(IY,1)=GEMU(IY,1)/(gsig(iy,1))

ENDIF

CALL
SETYX(lampr,GPRPOT,NYD,NXD)

CALL
SETYX(LBNAME('C31'),GSIG,NYD,NXD)

END IF

RETURN

98 CONTINUE

C * ----- SECTION 8 -----
-----

C For PHINT( ).LE.GRND--- interface
value of first phase

C Index FII1

RETURN

99 CONTINUE

C * ----- SECTION 9 -----
-----

```

```

C For PHINT( ).LE.GRND--- interface
value of second phase

C Index FII2

RETURN

C*****
*****

C
C--- GROUP 10. Inter-phase-transfer
processes and properties

C
10 GO TO (101,102,103,104,105),ISC

101 CONTINUE

C * ----- SECTION 1 -----
-----

C For CFIPS.LE.GRND--- inter-phase
friction coeff.

C Index
INTFRC

RETURN

102 CONTINUE

C * ----- SECTION 2 -----
-----

C For CMDOT.EQ.GRND- inter-phase
mass transfer Index INTMDT

c I0mdt=I0f(intmdt)
c I0c2=I0f(c2)
c I0r1=I0f(9)
c I0vol=I0f(LVOL)
c do i=1,nx*ny
c f(I0mdt+i)= - cmdta * (phint(c2) -
f(I0c2+i)) *
c 1 f(I0r1+i) * f(I0vol+i)
c enddo

RETURN

103 CONTINUE

```

```

C * ----- SECTION 3 -----
-----
C   For CINT( ).EQ.GRND--- phase1-to-
interface transfer coefficients

C                               Index
COI1

      RETURN

104 CONTINUE

C * ----- SECTION 4 -----
-----
C   For CINT( ).EQ.GRND--- phase2-to-
interface transfer coefficients

C                               Index
COI2

      RETURN

105 CONTINUE

C * ----- SECTION 5 -----
-----
C   For CVM.EQ.GRND--- virtual mass
coefficient

C                               Index
LD12

      RETURN

C*****
*****

C

C--- GROUP 11. Initialization of variable or
porosity fields

C                               Index VAL
11 CONTINUE

      RETURN

C*****
*****

C

C--- GROUP 12. Convection and diffusion
adjustments

C

```

```

12 CONTINUE

      RETURN

C*****
*****

C

C--- GROUP 13. Boundary conditions and
special sources

C                               Index for
Coefficient - CO

C                               Index for Value
- VAL

13 CONTINUE

      GO                               TO
(130,131,132,133,134,135,136,137,138,1
39,1310,

11311,1312,1313,1314,1315,1316,1317,
1318,1319,1320,1321),ISC

130 CONTINUE

C----- SECTION 1 -----
coefficient = GRND

      CALL
GETYX(LBNAME('H1'),GHH,NYD,NXD)

      CALL
GETYX(LBNAME('C31'),GSIG,NYD,NXD)

      L0FDZ=L0F(DZWNZ)

      DO 9833 IY=1, NY

9833
GPRPOTC(IY,1)=2.*gsig(iy,1)/F(L0FDZ+I
Z)

      CALL
SETYX(CO,GPRPOTC,NYD,NXD)

      RETURN

131 CONTINUE

C----- SECTION 2 -----
coefficient = GRND1

      RETURN

```

```

132 CONTINUE
C----- SECTION 3 -----
coefficient = GRND2
      RETURN
133 CONTINUE
C----- SECTION 4 -----
coefficient = GRND3
      CALL
GETYX(LBNAME('H1'),GHH,NYD,NXD)
      DO 9813 IY=1, NY
      IG(1)=1
      IG(2)=63
C ----- PRNDTL
9814 IG(3)=((IG(1)+IG(2))/2)
      IF (GHH(IY,1).LT.GHTAB(IG(3)))
THEN
      IG(2)=IG(3)
      ELSE
      IG(1)=IG(3)
      ENDIF
      IF((IG(2)-IG(1)).NE.1) GOTO 9814

GTHK(IY,1)=GTHKTAB(IG(1))+GTHKTA
B(IG(2))-GTHKTAB(IG(1))*
      &((GHH(IY,1)-
GHTAB(IG(1)))/(GHTAB(IG(2))-
GHTAB(IG(1))))

GEMU(IY,1)=GEMUTAB(IG(1))+GEMUT
AB(IG(2))-GEMUTAB(IG(1))*
      &((GHH(IY,1)-
GHTAB(IG(1)))/(GHTAB(IG(2))-
GHTAB(IG(1))))

GCP(IY,1)=GCPTAB(IG(1))+GCPTAB(I
G(2))-GCPTAB(IG(1))*
      &((GHH(IY,1)-
GHTAB(IG(1)))/(GHTAB(IG(2))-
GHTAB(IG(1))))

9813
GPRPR(IY,1)=1./((GEMU(IY,1)*GCP(IY,1
))/(GTHK(IY,1)))

      CALL SETYX(CO,GPRPR,NYD,NXD)
      RETURN
134 CONTINUE
C----- SECTION 5 -----
coefficient = GRND4
      RETURN
135 CONTINUE
C----- SECTION 6 -----
coefficient = GRND5
      RETURN
136 CONTINUE
C----- SECTION 7 -----
coefficient = GRND6
      RETURN
137 CONTINUE
C----- SECTION 8 -----
coefficient = GRND7
      RETURN
138 CONTINUE
C----- SECTION 9 -----
coefficient = GRND8
      RETURN
139 CONTINUE
C----- SECTION 10 -----
coefficient = GRND9
      RETURN
1310 CONTINUE
C----- SECTION 11 -----
coefficient = GRND10
      RETURN

```



```

1311 CONTINUE
C----- SECTION 12 -----
--- value = GRND

    CALL FN21(VAL,C15,vol,0.0,1.0)

    RETURN

1312 CONTINUE
C----- SECTION 13 -----
--- value = GRND1

    CALL FN21(VAL,C13,vol,0.0,1.0)

    RETURN

1313 CONTINUE
C----- SECTION 14 -----
--- value = GRND2

    CALL
GETYX(LBNAME('H1'),GHH,NYD,NXD)

    CALL
GETYX(LBNAME('C7'),GC7,NYD,NXD)

    CALL
GETYX(LBNAME('C9'),GC9,NYD,NXD)

    CALL
GETYX(LBNAME('C31'),GSIG,NYD,NXD)

    DO 959 IY=1, NY

    IG(1)=1

    IG(2)=63

958  IG(3)=((IG(1)+IG(2))/2)

    IF  (GHH(IY,1).LT.GHTAB(IG(3)))
THEN
    IG(2)=IG(3)

    ELSE

    IG(1)=IG(3)

    ENDIF

    IF((IG(2)-IG(1)).NE.1)  GOTO
958

GTEM(IY,1)=GTTAB(IG(1))+GTTAB(IG(
2))-GTTAB(IG(1))*

```

```

&((GHH(IY,1)-
GHTAB(IG(1)))/(GHTAB(IG(2))-
GHTAB(IG(1))))

GJOULE(IY,1)=((GC7(IY,1)**2)+(GC9(IY,
1)**2))/(GSIG(IY,1))

959  gpr(iy,1)=gpr(iy,1)

    CALL
SETYX(VAL,GJOULE,NYD,NXD)

    CALL
SETYX(C10,GJOULE,NYD,NXD)

    CALL SETYX(C21,GTEM,NYD,NXD)

    RETURN

1314 CONTINUE
C----- SECTION 15 -----
--- value = GRND3

    CALL
GETYX(LBNAME('H1'),GHH,NYD,NXD)

    L0FRG=L0F(RG2D)

    L0ZG=L0F(ZGNZ)

    L0VOL=L0F(VOL)

    DO 935 IY=1, NY

    IG(1)=1

    IG(2)=63

C ----- PRNDTL

936  IG(3)=((IG(1)+IG(2))/2)

    IF  (GHH(IY,1).LT.GHTAB(IG(3)))
THEN
    IG(2)=IG(3)

    ELSE

    IG(1)=IG(3)

    ENDIF

    IF((IG(2)-IG(1)).NE.1)  GOTO
936

RG(6)=GRADTAB(IG(1))+GRADTAB(IG(
2))-GRADTAB(IG(1))*

```

```

&((GHH(IY,1)-
GHTAB(IG(1)))/(GHTAB(IG(2))-
GHTAB(IG(1))))

    if(isweep.eq.LSWEEP.AND.IZ.NE.1)
then

    do i=1, ny

    do k=1, 314

gr2(i)=((f(I0frG+iy)*sin(float(k)*0.01))**2+(
F(I0frG+i)-
    &f(I0frG+iy)*cos(float(k)*0.01))**2)**.5

    gdz2(i)=ABS(RG(50)-(RG(50)-
f(I0zG+iz)))

    GRIJ(I)=(GR2(I)**2+GDZ2(I)**2)**.5

    GPSI(I)=GDZ2(I)/GRIJ(I)

GSUMA(I)=GSUMA(I)+(RG(6)*GPSI(I)*(2
.F(L0VOL+IY))

    &/(12.566*GRIJ(I)**2))

    enddo

    IF(IZ.EQ.NZ-1.and.iy.eq.ny) THEN

    WRITE(69,*)F(L0FRG+I),GSUMA(I)

    ENDIF

    ENDDO

    ENDIF

935  GRAD(IY,1)=-RG(6)

    CALL SETYX(VAL,GRAD,NYD,NXD)

    CALL SETYX(C12,GRAD,NYD,NXD)

    RETURN

1315 CONTINUE

C----- SECTION 16 -----
--- value = GRND4

    CALL

    GETYX(LBNAME('H1'),GHH,NYD,NXD)

    CALL

    GETYX(LBNAME('C23'),GC23,NYD,NXD
)

    CALL

    GETYX(LBNAME('C25'),GC25,NYD,NXD
)

    CALL

    GETYX(LBNAME('C7'),GC7,NYD,NXD)

    CALL

    GETYX(LBNAME('C9'),GC9,NYD,NXD)

    DO 971 IY=1, NY

    if (iy.eq.1) then

        GBC5(IY,1)=2.1543367E-
04*(GC9(IY,1)*GC25(IY,1))

    else

        GBC5(IY,1)=2.1543367E-
04*((GC9(IY,1)
&*(GC25(IY,1)))+(GC7(IY,1)*(GC23(IY,1)
)))

    endif

971  GBC5(iy,1)=GBC5(iy,1)

    CALL SETYX(VAL,GBC5,NYD,NXD)

    CALL SETYX(C14,GBC5,NYD,NXD)

    RETURN

1316 CONTINUE

C----- SECTION 17 -----
--- value = GRND5

    RETURN

1317 CONTINUE

C----- SECTION 18 -----
--- value = GRND6

    RETURN

1318 CONTINUE

C----- SECTION 19 -----
--- value = GRND7

    RETURN

1319 CONTINUE

C----- SECTION 20 -----
--- value = GRND8

```

```

      CALL          FN3(VAL, RG2D, -
8.8E+07, 0.0, 5.78567E+12)

      RETURN

1320 CONTINUE

C----- SECTION 21 -----
--- value = GRND9

      CALL
GETYX(LBNAME('H1'), GHH, NYD, NXD)

      CALL
GETYX(HIGH(H1), GTT, NYD, NXD)

      CALL
GETYX(HIGH(V1), GV1, NYD, NXD)

      CALL
GETYX(HIGH(C9), GC9, NYD, NXD)

      CALL
GETYX(LBNAME('C21'), GC21, NYD, NXD
)

      L0FR=L0F(RV2D)

      DO 4937 IY=1, NY

      IG(1)=1

      IG(2)=63

4938 IG(3)=((IG(1)+IG(2))/2)

      IF      (GTT(IY,1).LT.GHTAB(IG(3)))
THEN
      IG(2)=IG(3)

      ELSE

      IG(1)=IG(3)

      ENDIF

      IF((IG(2)-IG(1)).NE.1) GOTO 4938

      GEMU(IY,1)=GEMUTAB(IG(1))+(GEMUT
AB(IG(2))-GEMUTAB(IG(1)))

      &((GHH(IY,1)-
GHTAB(IG(1)))/(GHTAB(IG(2))-
GHTAB(IG(1))))

```

```

GRHO(IY,1)=GRHOTAB(IG(1))+(GRHOT
AB(IG(2))-GRHOTAB(IG(1)))

      &((GHH(IY,1)-
GHTAB(IG(1)))/(GHTAB(IG(2))-
GHTAB(IG(1))))

      GBC2(IY,1)=-6.76*ABS(GC9(IY,1))

      GBC3(IY,1)=-2.1543367E-
04*ABS(GC9(IY,1))

      &*(1.2*GC21(IY,1)-1800.)

      GBC1(IY,1)=-
.79*(((GEMU(IY,1)*GRHO(IY,1))/(2.4E-
05))**.11)*

      &((2.4E-
05*abs(GV1(IY,1))/F(L0FR+IY))**.5)*

      &ABS((GTT(IY,1)-6.254E+05))

C ***** SUBROUTINE THAT
COMPUTES THE HEAT FLUX DUE

c ***** ANODE FALL+WORK
FUNCTION, THOMPSON E & CONV

      IF (ISWEEP.EQ.LSWEEP-1) THEN

      WRITE(72,*)F(L0FR+IY),-
GBC1(IY,1),-GBC2(IY,1),-GBC3(IY,1),

      &-GBC1(IY,1)-GBC2(IY,1)-GBC3(IY,1)

      ENDIF

c ***** FINISH OF SUBROUTINE

4937
GBC(IY,1)=GBC1(IY,1)+GBC2(IY,1)+GB
C3(IY,1)

C4937 GBC(IY,1)=GBC1(IY,1)

      CALL SETYX(VAL,GBC,NYD,NXD)

      RETURN

1321 CONTINUE

C----- SECTION 22 -----
--- value = GRND10

      RETURN

```

```

C*****
*****

C

C--- GROUP 14. Downstream pressure for
PARAB=.TRUE.

C

14 CONTINUE

RETURN

C*****
*****

C* Make changes to data for GROUPS 15,
16, 17, 18 GROUP 19.

C*****
*****

C

C--- GROUP 19. Special calls to GROUND
from EARTH

C

19 GO TO
(191,192,193,194,195,196,197,198,199,1
910,1911),ISC

191 CONTINUE

C * ----- SECTION 1 ---- Start
of time step.

RETURN

192 CONTINUE

C * ----- SECTION 2 ---- Start
of sweep.

DO IY=1, NY

GSUMA(IY)=0.0

ENDDO

RETURN

193 CONTINUE

C * ----- SECTION 3 ---- Start
of iz slab.

RETURN

```

```

194 CONTINUE

C * ----- SECTION 4 ---- Start
of iterations over slab.

RETURN

1911 CONTINUE

C * ----- SECTION 11---- After
calculation of convection

C fluxes for scalars,
and of volume

C fractions, but before
calculation of

C scalars or velocities

RETURN

199 CONTINUE

C * ----- SECTION 9 ---- Start
of solution sequence for

C a
variable

RETURN

1910 CONTINUE

C * ----- SECTION 10---- Finish
of solution sequence for

C a
variable

RETURN

195 CONTINUE

C * ----- SECTION 5 ---- Finish
of iterations over slab.

RETURN

196 CONTINUE

C * ----- SECTION 6 ---- Finish
of iz slab.

RG(100)=4E-07*3.1416

LOC27=L0F(C27)

LOC21=L0F(C21)

I0z=l0f(zwnz)

```

```

L0C3=L0F(C3)
L0C5=L0F(C5)
L0C7=L0F(C7)
L0C9=L0F(C9)
L0C17=L0F(low(C7))
L0C19=L0F(low(C9))
L0C11=L0F(C11)
L0C13=L0F(C13)
L0C15=L0F(C15)
L0FRG=L0F(RG2D)
L0FR=L0F(RV2D)
L0FRG=L0F(RG2D)
L0FDR=L0F(DYV2D)
c derivation of potential with respect to r an
z
CALL FNDSY(C3,C27)
CALL FNDSZ(C5,C27)
C COMPUTATION OF TEMPERATURE
DERIVATIVES
CALL FNDSY (C23,LBNAME('C21'))
CALL FNDSZ (C25,LBNAME('C21'))
C computation of B from Ampere's law
DO IY=1, NY
RG(99)=0.0
DO II=1, IY
RG(99)=RG(99)+F(L0C9+II)*F(L0FRG+II)
*F(L0FDR+II)
ENDDO
F(L0C11+IY)=(RG(100)/F(L0FRG+IY))*R
G(99)
ENDDO
CALL FN21(C7,C31,C3,0.0,-1.0)
CALL FN21(C9,C31,C5,0.0,-1.0)
c computation of Lorentz's forces
if (iz.ne.NZ) then
do 458 iy=1, ny
f(l0c13+iy)=f(l0c7+iy)*f(l0c11+iy)
f(l0c15+iy)=-f(l0c9+iy)*f(l0c11+iy)
458 continue
endif
if (iz.eq.NZ) then
do 4458 iy=1, ny
f(l0c13+iy)=f(l0c7+iy)*f(l0c11+iy)
f(l0c15+iy)=-f(l0c9+iy)*f(l0c11+iy)
4458 continue
endif
CALL FNDVDZ(C33,V1)
CALL FNDVDY(C19,V1)
C
C *** PRINT TEMPERATURE ALL FIELD
IF(isweep.eq.LSWEEP-1) THEN
call getyx(c21,gc21,nyd,nxd)
do iy=1, ny
if (iz.eq.NZ) then
write(67,*)f(L0FR+iy),-f(l0c11+iy)
endif
if (iz.eq.45) then
write(68,*)f(L0FR+iy),-f(l0c11+iy)
write(61,*)f(L0FR+iy),-f(l0c9+iy)
write(64,*)f(L0FR+iy),f(l0c7+iy)
endif
if (iz.eq.30) then
write(81,*)f(L0FR+iy),-f(l0c11+iy)
write(62,*)f(L0FR+iy),-f(l0c9+iy)
write(65,*)f(L0FR+iy),f(l0c7+iy)
endif
endif

```

```

if (iz.eq.15) then
write(82,*)f(L0FR+iy),-f(l0c11+iy)
write(63,*)f(L0FR+iy),-f(l0c9+iy)
write(66,*)f(L0FR+iy),f(l0c7+iy)
endif
if (iz.eq.1) then
write(83,*)f(L0FR+iy),-f(l0c11+iy)
endif
IF (IY.EQ.10) THEN
write(84,*)-f(L0Z+IZ)+rg(50),-
f(l0c11+iy)
ENDIF
write(80,*)f(l0fr+iy),-
F(L0z+iz)+rg(50),f(l0c21+iy)
write(60,*)f(l0fr+iy),-F(L0z+iz)+rg(50),-
f(l0c11+iy)
enddo
endif
if (iz.eq.1) then
IF (ISWEEP.EQ.LSWEEP-1) THEN
CALL
GETYX(HIGH(H1),GTT,NYD,NXD)
CALL
GETYX(HIGH(V1),GV1,NYD,NXD)
CALL GETYX(H1,GHH,NYD,NXD)
CALL
GETYX(HIGH(C9),GC9,NYD,NXD)
call getyx(c21,gc21,nyd,nxd)
call getyx(c33,gc33,nyd,nxd)
call getyx(c19,gc19,nyd,nxd)
call getyx(p1,gp1,nyd,nxd)
call getyx(visl,gemu,nyd,nxd)
call getyx(den1,grho,nyd,nxd)
do iy=1, ny
gtau(iy,1)=-
GEMU(IY,1)*GRHO(IY,1)*gc33(iy,1)
write(70,*)f(l0fr+iy),GTAU(IY,1)
GBC1(IY,1)=(.7904)*(((GEMU(IY,1)*GRH
O(IY,1)**2)
&/((1.8702E-05)**.11)*((1.8702E-
05*abs(gV1(iy,1)/
&F(L0FR+IY)))**.5)*ABS((GTT(IY,1)-
5.2E+05))
GBC(IY,1)=(.7904)*(((GEMU(IY,1)*GRHO
(IY,1)**2)
&/((2.4E-05)**.11)*(2.4E-
05*abs(gC19(iy,1))**.5)
&*ABS(GTT(IY,1)-6.254E+05)
C
write(75,*)f(l0fr+iy),GBC1(iy,1),GBC(IY,1)
write(79,*)f(l0fr+iy),GP1(IY,1)
c write(77,*)f(l0fr+iy),-GC9(IY,1)
write(77,*)f(l0fr+iy),f(L0C9+iy)
write(74,*)f(l0fr+iy),GC21(IY,1)
enddo
endif
endif
IF (ISWEEP.EQ.LSWEEP-1) THEN
call getyx(W1,GW1,nyd,nxd)
call getyx(P1,GP1,nyd,nxd)
call getyx(C21,GC21,nyd,nxd)
call getyx(C9,GC9,nyd,nxd)
write(71,*)f(l0fr+1),-
F(L0z+iz)+rg(50),GC21(1,1)
write(73,*)f(l0fr+1),-F(L0z+iz)+rg(50),-
GW1(1,1)
write(76,*)f(l0fr+1),-F(L0z+iz)+rg(50),-
GC9(1,1)

```

```
write(78,*)f(lOfr+1),-
F(L0z+iz)+rg(50),GP1(1,1)
```

```
ENDIF
```

```
RETURN
```

```
197 CONTINUE
```

```
C * ----- SECTION 7 ---- Finish
of sweep.
```

```
RETURN
```

```
198 CONTINUE
```

```
C * ----- SECTION 8 ---- Finish
of time step.
```

```
C
```

```
RETURN
```

```
C*****
*****
```

```
C
```

```
C--- GROUP 20. Preliminary print-out
```

```
C
```

```
20 CONTINUE
```

```
RETURN
```

```
C*****
*****
```

```
C--- GROUP 21. Special print-out to
screen
```

```
21 CONTINUE
```

```
GO TO 25
```

```
C*****
*****
```

```
C* Make changes to data for GROUP 22
only in GROUP 19.
```

```
C*****
*****
```

```
C
```

```
C--- GROUP 23. Field print-out and plot
control
```

```
23 CONTINUE
```

```
RETURN
```

```
C*****
*****
```

```
C
```

```
C--- GROUP 24. Dumps for restarts
```

```
C
```

```
24 CONTINUE
```

```
END
```