

**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA
MARÍA DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
VALPARAÍSO – CHILE**



**“Modelación y simulación computacional del
proceso de combustión de leña en una estufa de
calefacción residencial”**

NICOLÁS ROCCHICCIOLI NÚÑEZ

**MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL MECÁNICO**

**PROFESOR GUÍA: DR. MARIO TOLEDO TORRES
PROFESOR CORREFERENTE: DR. FABIÁN GUERRERO CASTRO**

NOVIEMBRE 2021

Agradecimientos

Primero, quiero agradecer al profesor Mario y a todo el equipo de combustión por su gran disponibilidad y el grato ambiente de trabajo que se formó.

También, agradecer a mi familia que me ayudaron y apoyaron en todo momento, han sido un pilar fundamental en todo este largo proceso.

Por último, agradecer a todos mis amigos que siempre me dieron una mano cuando la necesité.

Resumen

El presente trabajo de título se enmarca en el desarrollo del proyecto FONDEF IDeA ID20I10319. Esta iniciativa considera el uso de medios porosos inertes dentro de la cámara de combustión de un calefactor de leña residencial, con el fin de mitigar las emisiones de gases contaminantes y material particulado, a su vez, aumentar la eficiencia térmica y potencia nominal del artefacto de combustión.

El trabajo consistió en simular computacionalmente el proceso de combustión al interior de una estufa de calefacción residencial, para esto, se creó un código desde cero utilizando Python 3.0. Al respecto, se utilizó el modelo radiativo llamado intercambio radiativo entre superficies grises, que considera la absorptividad, emisividad y reflectividad de cada pared, a su vez, se considera el gas al interior como una nueva área y fuente de transmisión de calor.

Se modeló lo que ocurre al interior de la estufa solo debajo del templador, considerando una geometría simplificada, un cuerpo de llama rectangular con volumen constante con una distribución de temperaturas obtenida de papers numéricos. A su vez, para el cálculo de las propiedades radiativas de los gases de combustión se utilizaron las funciones de Leckner.

La distribución de materiales utilizados en el hogar de combustión consideró que las paredes laterales y traseras están cubiertas con aislante de vermiculita y acero hacia el exterior, el templador es hecho de acero con aislante de lana de fibra de vidrio en su interior, por último, la cara frontal del artefacto consta de un vidrio cerámico rodeado de lana de fibra de vidrio como aislante y acero hacia el exterior.

Para el cálculo de las propiedades radiativas de los gases de combustión, se utilizó la composición elemental de la leña Eucalyptus Globulus, a su vez, se consideró combustión completa con un ingreso de aire estequiométrico más presión atmosférica al interior del hogar de combustión.

Para modelar la inclusión de medios porosos, se calcula el calor que entrega cada MPI mediante resultados obtenidos de ensayos experimentales previos. En tal sentido, se considera que hay combustión solo de CO al interior del medio poroso, y el calor por unidad de área aportado por estos es de $925 \frac{W}{m^2}$. A su vez, en cuanto a la inclusión geométrica, se dividió cada cara lateral y la cara trasera en 9 superficies, de manera de incluir los MPI en estas secciones e ir probando las mejores ubicaciones para estos.

Se consideró transferencia de calor solo por radiación al interior del hogar de combustión, transferencia de calor por conducción transversal hacia las paredes, y, por último, hacia el exterior se consideró transferencia de calor por radiación y convección. Luego, los resultados se obtienen mediante un proceso iterativo del programa creado.

Se realizaron varias simulaciones para diferentes condiciones de operación, primero, se realizó sin considerar medios porosos (condición base), luego, se realizaron simulaciones con medios porosos en distintas ubicaciones, resultando la más ventajosa la Configuración 2. En cuanto a los resultados en sí, al comparar los resultados de condición base y la inclusión de medios porosos con la

configuración más favorable, las principales ventajas son que se aumentó considerablemente la temperatura del gas, lo que puede significar una combustión más completa; a su vez, aumentó la temperatura del templador, lo que implicaría una segunda combustión más eficiente; además, todas las superficies interiores tuvieron un aumento de temperatura, lo que permitiría una quema más eficiente del combustible sólido; también, se agrega una nueva fuente de calor al incluir medios porosos y haber combustión en ellos, por ende, se puede suponer que la potencia nominal de la estufa aumenta; por último, el vidrio recibe 224 [W] más de calor, y, el calor liberado por todas las superficies aumenta en 568 [W] , por lo que se deduce un aumento de la eficiencia térmica del artefacto.

Para finalizar, se validaron los resultados obtenidos computacionalmente haciendo un contraste con resultados obtenidos de ensayos experimentales previos, donde se concluye que el programa predice un comportamiento cualitativamente correcto de las temperaturas interiores y exteriores, con leves diferencias cuantitativas debido a las simplificaciones y consideraciones del modelo.

Abstract

The present work is framed in the development of the FONDEF IDeA ID20I10319 project. This initiative considers the use of inert porous media inside the combustion chamber of a residential woodburning stove, with the finality of mitigating contaminant gas emissions and particulate matter and increasing thermal efficiency and the nominal heating power of the artefact.

The work consisted in the numeric simulation of the combustion process inside the woodstove heater, therefore, a python 3.0 language code was created. Regarding this, a radiative model called “radiative heat exchange between gray surfaces” was implemented, which considers absorptivity, emissivity, and reflectivity of every wall and the gas inside the stove as a new area and heat source.

Only what occurs beneath the roof of the combustion chamber is modeled, considering a simplified geometry and a rectangular constant volume flame shape with a temperature distribution obtained from numerical simulation papers. For the combustion gases radiative properties calculus, Leckner functions were used.

The layout of the materials utilized in the combustion chamber took in consideration that the side and rear walls are covered with vermiculite and steel insulation with the exterior, that the roof is made of steel with glass fiber wool inside of it and lastly, that the front face of the wood burner consists of ceramic glass surrounded with glass fiber wool as insulation and steel.

For the calculus of the radiative properties of the combustion gases, the elemental composition of Eucalyptus Globulus wood was used, as well as complete combustion, stoichiometric amount of air at atmospheric pressure inside the fireplace.

For the modelling of the inclusion of porous media structures, the heat given by every IPM is calculated through previous experiments. Therefore, it is considered that there is only CO (carbon monoxide) combustion inside the porous media, and that the per-area heat given by these structures is approximately $925 \frac{W}{m^2}$. Regarding the geometrical aspects, every side and rear wall was divided into 9 surfaces, so the IPM could be included in these sections and the best locations for them could be tested.

Heat exchange was considered by radiation inside the combustion chamber, conduction perpendicularly through the walls, and lastly, radiation and convection with the ambient. Temperatures were obtained via iterative process within the created program.

Various simulations were carried out for different operating conditions. Firstly, simulations were done without considering porous media structures (base line), after that, numerous simulations locating porous media structures within the walls were made, resulting the best configuration to be number 2. As to the results, comparing the base line and the inclusion of IPM structures in the most favorable configuration, the main advantages of the latter is the considerable rise in the gas temperature which could mean a more complete combustion, an increase in the combustion chamber roof temperature allowing a more efficient secondary combustion, a temperature

increase of every wall enabling a more efficient burning of the solid fuel, an addition of a new heat source when adding porous media structures, that, when having combustion held in them, increase the nominal heat power of the stove, and lastly, an additional front glass reception of 224 [W] and heat release of every surface up to 568 [W], implying a rise of the thermal efficiency of the woodburning stove.

Finally, numeric results were validated with previous experimental ones, concluding that the created program predicts a qualitative-correct behavior of the interior and exterior temperatures, with mild quantitative differences due to the simplifications and considerations of the model.

Tabla de Contenido

1.	Introducción y objetivos.....	11
1.1.	Introducción	11
1.2.	Proyecto FONDEF	12
1.3.	Objetivos	13
1.3.1.	Objetivo general.....	13
1.3.2.	Objetivos específicos.....	13
2.	Marco teórico.....	14
2.1.	Leña	14
2.1.1.	Antecedentes en Chile	14
2.1.2.	Composición elemental y poder calorífico.....	16
2.1.3.	Políticas y normativas.....	17
2.2.	Material Particulado.....	17
2.2.1.	Antecedentes en Chile	18
2.3.	Estufas a leña.....	19
2.3.1.	Normativa legal	20
2.4.	Bosca Spirit 380.....	21
2.5.	Medios porosos inertes.....	22
2.5.1.	Combustión en MPI.....	23
2.6.	Transferencia de Calor por Radiación	24
2.6.1.	Radiación de cuerpo negro	26
2.6.2.	Emisividad	26
2.6.3.	Absortividad, reflectividad y transmisividad	26
2.6.4.	Radiosidad e irradiación.....	27
2.6.5.	Ley de Kirchhoff.....	28
2.6.6.	Factor de forma	28
2.6.7.	Transferencia neta de calor entre superficies negras.....	29
3.	Simulación computacional.....	30
3.1.	Modelo Radiativo	30
3.1.1.	Intercambio radiativo entre superficies grises.....	30
3.1.2.	Propiedades radiativas del gas.....	32
3.1.3.	Inclusión de MPI en la cámara de combustión.	35
3.1.4.	Proceso iterativo	38

3.1.5.	Consideraciones	38
3.2.	Situación física a modelar	39
3.2.1.	Cálculo de factores de forma	42
3.2.2.	Composición elemental del combustible	45
3.2.3.	Condiciones Iniciales y de borde	45
3.2.4.	Inclusión geométrica de los MPI en el hogar de combustión	46
3.3.	Análisis y Resultados	47
3.3.1.	Condición de operación 1.....	47
3.3.2.	Condición de operación 2.....	50
3.3.3.	Condición de operación 3.....	53
3.3.4.	Resultados y comparación con y sin MPI incluidos en el hogar de combustión.....	57
3.4.	Validación con resultados experimentales	58
4.	Conclusiones.....	62
5.	Propuestas a futuro.....	63
6.	Referencias.....	64
7.	Anexos	67

Índice de Figuras

Figura 2.1 Matriz energética primaria nacional [7].....	14
Figura 2.2 Matriz energética secundaria nacional [7].....	15
Figura 2.3 Proyección para el consumo de leña total nacional sector residencial [9].....	15
Figura 2.4 Distribución del volumen consumido por especies en el sector residencial [9].....	16
Figura 2.5 Relación de tamaño entre un cabello humano y material particulado [13].	18
Figura 2.6 Emisiones al aire de $MP_{2,5}$, NO_x y SO_2 según tipo de fuente [14].	18
Figura 2.7 Emisión de $MP_{2,5}$ por región y tipo de fuente [14].....	19
Figura 2.8 Artefactos a leña utilizados a nivel nacional en el sector residencial [9].....	20
Figura 2.9 Bosca Spirit 380.	21
Figura 2.10 Sistema de doble combustión estufa Bosca [18].	22
Figura 2.11 Teoría del exceso de entalpía en MPI [23].	24
Figura 2.12 Espectro de Radiación Electromagnética [24].....	25
Figura 2.13 Absorción, reflexión y transmisión de radiación [25].	27
Figura 3.1 Esquema modelo radiativo.	32
Figura 3.2 Ecuaciones de emisividad obtenidas de funciones de Leckner [27].	34
Figura 3.3 Factor de corrección para emisividad de funciones de Leckner [27].....	35
Figura 3.4 Concentración de CO en el hogar de combustión, Fernanda Inostroza [28].	36
Figura 3.5 Resultados experimentales, Fernanda Inostroza [28].....	37
Figura 3.6 Proceso iterativo del Modelo Radiativo.	38
Figura 3.7 Cámara de combustión calefactor residencial marca BOSCA modelo Spirit 380.	39
Figura 3.8 Subdivisiones para la inclusión de MPI en el hogar de combustión.	41
Figura 3.9 Aproximación cuerpo de llama.	41
Figura 3.10 Salida de gases en la cámara de combustión.	42
Figura 3.11 Áreas de transferencia de calor en el hogar de combustión.	42
Figura 3.12 Algoritmos de factores de forma [36] [37].....	44
Figura 3.13 Temperatura del cuerpo de llama.....	45
Figura 3.14 Imagen de Medios Porosos utilizados.....	47
Figura 3.15 Resultados Estufa Condición Base.....	49
Figura 3.16 Configuración 1, ubicación de MPI.....	50
Figura 3.17 Resultados para Configuración 1, MPI Zirconio sin combustión.....	51
Figura 3.18 Resultados para Configuración 1, MPI Alúmina sin combustión.	52
Figura 3.19 Resultados para Configuración 1, MPI Carburo de Silicio sin combustión.	52

Figura 3.20 Configuración 2, ubicación de MPI con combustión.....	54
Figura 3.21 Configuración 3, ubicación de MPI con combustión.....	54
Figura 3.22 Configuración 4, ubicación de MPI con combustión.....	55
Figura 3.23 Resultados para Configuración 2, MPI Carburo de Silicio con combustión.	56
Figura 3.24 Posiciones termocuplas, ensayo Fernanda Inostroza [28].....	58
Figura 3.25 Ubicación de MPI en ensayos experimentales.....	59

Índice de Tablas

Tabla 2.1 Poder calorífico superior e inferior de leña [10].	16
Tabla 2.2 Límites de emisión de MP según potencia [17].	20
Tabla 2.3 Características Bosca Spirit 380 [19].	22
Tabla 2.4 Propiedades termofísicas de MPI [22].	23
Tabla 3.1 Constantes de correlación para la determinación de la emisividad total para vapor de agua y dióxido de carbono [27].	34
Tabla 3.2 Propiedades termofísicas de los materiales dentro del hogar de combustión [32] [33] [34] [35].	40
Tabla 3.3 Composición elemental Eucalyptus Globulus [38].	45
Tabla 3.4 Propiedades termofísicas de los MPI utilizados en la simulación.	47
Tabla 3.5 Resultados Estufa Condición Base.	49
Tabla 3.6 Comparación de resultados incluyendo MPI con combustión en ellos en distintas ubicaciones.	55
Tabla 3.7 Resultados estufa con y sin medios porosos.	57
Tabla 3.8 Comparación con resultados experimentales. Condición base [28] [5].	59
Tabla 3.9 Comparación con resultados experimentales. Inclusión de medios porosos [28] [5]	60
Tabla 3.10 Calor entregado por las superficies vs calor entregado por el combustible	61

1. Introducción y objetivos

1.1. Introducción

La combustión de madera residencial en estufas a leña es una fuente de contaminación en todo el mundo debido a los contaminantes que se liberan con el humo de combustión compuestos por una mezcla compleja de gases, tales como, CO , CO_2 , NO_x , SO_2 , entre otros, además, emite material particulado MP_{10} , $MP_{2.5}$, $MP_{1.0}$. Por otro lado, también se liberan compuestos orgánicos tóxicos como benceno, formaldehído e hidrocarburos aromáticos policíclicos, los cuales son una grave amenaza para la salud humana [1].

Con respecto al daño causado por el material particulado [2], el tamaño de las partículas se encuentra directamente relacionado con el potencial para provocar problemas de salud. Las partículas menores a 10 micrómetros de diámetros son las más perjudiciales, dado que llegan a mayor profundidad en los pulmones, y peor aún, algunas hasta alcanzan el torrente sanguíneo. Algunas de las consecuencias a la exposición de estas partículas son:

- Muerte prematura en personas con enfermedades cardíacas o pulmonares.
- Infartos de miocardio.
- Latidos irregulares.
- Asma agravada.
- Función pulmonar reducida.
- Síntomas respiratorios aumentados, tales como, irritación en las vías respiratorias, tos o dificultades para respirar.

A su vez, estas partículas se pueden transportar a gracias al viento a través de largas distancias, para luego, instalarse en el suelo o agua. Según la composición química, algunos de los daños ambientales provocados son:

- Lagos y arroyos se vuelven ácidos.
- Cambio en balance nutricional de las aguas costeras y de las grandes cuencas fluviales.
- Reducción de los nutrientes del suelo.
- Daño en bosques sensibles y cultivos agrícolas.
- Efectos perjudiciales sobre la diversidad de ecosistemas.
- Contribución a la lluvia ácida.

En cuanto a los gases contaminantes, se tienen consecuencias hasta fatales, 3400 muertes al año en Chile se deben a la contaminación atmosférica. Para profundizar, diversos estudios afirman que el monóxido de carbono es peligroso para las personas y animales, dado que se fija en la

hemoglobina de la sangre, impidiendo el transporte de oxígeno al organismo. A su vez, es difícil de detectar cotidianamente, dado que no tiene olor [3] [4].

Por otro lado, el dióxido de carbono produce incrementos de temperatura en la tierra, fomentando el efecto invernadero, mismo efecto que producen los NO_x .

El dióxido de azufre y los óxidos de nitrógeno se combinan formando ácido sulfúrico y ácidos nítricos, sustancias que caen al suelo en forma de precipitación o lluvia (llamada lluvia ácida), los cuales resultan devastadores para los ecosistemas y para la salud de las especies, incluyendo a los humanos. Estos contaminantes pueden recorrer grandes distancias, los vientos los trasladan miles de kilómetros antes de precipitarse con las lluvias, rocíos, granizo, nieve o niebla dependiendo de cada lugar, los cuales se vuelven ácidos al combinarse con estos gases residuales. La consecuencia del dióxido de azufre en la atmósfera también es material, dado que afecta a la integridad de edificios y todo tipo de estructuras.

Para mitigar estos efectos adversos, estudios anteriores demuestran que un aumento de la eficiencia en estufas de combustión a leña disminuye considerablemente la emisión de los contaminantes dañinos emitidos [1] [5]. En esta misma medida, la inclusión de medios porosos y la posible combustión en ellos ayudará a tal objetivo. Es por esto que, la presente investigación tiene como propósito crear un código en Python 3.0, con el objetivo de simular los efectos térmicos para un nuevo prototipo de calefacción residencial, el cual consta de una novedosa estructura para poder colocar máximo 9 medios porosos por pared lateral y pared trasera. Gracias a la simulación, se probará y evaluará las mejores ubicaciones para los MPI, determinando en que posiciones aumenta más la temperatura y los flujos de calor al interior de la cámara de combustión, de esta forma, se podrá deducir donde hubo mayores aumentos de eficiencia y potencia nominal de la estufa. Vale decir que, la estufa a trabajar, modificar y simular es la Bosca Spirit 380, por ende, se utilizará la geometría, materiales y dimensiones que esta posee para modelar.

1.2. Proyecto FONDEF

Dada la problemática actual por el consumo de leña para calefacción residencial, nace el proyecto FONDEF, que, en conjunto a la empresa Bosca y Bosques del norte, se crea una propuesta que tiene por objetivo desarrollar un innovador prototipo de calefacción residencial mediante el uso de medios porosos inertes en el hogar de combustión (investigación tecnológica) e integrarlo al pretratamiento de lavado de leña con valorización de RILes (investigación científica), que permita mitigar las emisiones de contaminantes atmosféricos (carbono negro, material particulado y gases de combustión) contribuyendo a mejorar la calidad del aire de la zona centro-sur de Chile. Los objetivos específicos del proyecto son:

- Investigar, desarrollar y validar un protocolo de lavado de leñas certificadas (“leño-limpio”) representativas de las regiones del centro-sur de Chile, y caracterizar química (orgánica e inorgánica) la solución del lavado para valorización de RILes, a partir de resultados preliminares realizados con virutas.

- Desarrollar una estufa prototipo de combustión bajo el concepto de combustión filtrada, con la instalación de un sistema de recolección de emisiones de carbono negro, material particulado atmosférico y gases de combustión según la normativa nacional e internacional.
- Caracterizar las emisiones de carbono negro, material particulado atmosférico ($MP_{10}, MP_{2.5}, MP_{1.0}$) y gases de combustión (CO, CO_2, NO_x, SO_2), y la eficiencia energética de la tecnología de combustión bajo diferentes condiciones de ensayos: leña certificada-estufa convencional; leña lavada-estufa convencional; leña certificada-prototipo de estufa; leña lavada-prototipo de estufa.
- Determinar los factores de emisión máxicos y energéticos para carbono negro, material particulado atmosférico ($MP_{10}, MP_{2.5}, MP_{1.0}$) y los gases de combustión (CO, CO_2, NO_x, SO_2) según las condiciones de ensayo de combustión.
- Desarrollar una plataforma web que sirva como herramienta de interés público-privado que presente al sistema integrado propuesto, como solución aplicable al contexto actual de contaminación atmosférica, principalmente en la zona centro-sur del país.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

En el marco del proyecto de FONDEF-IDEA código ID20I10319 denominado “Innovador prototipo de calefacción residencial integrado al pretratamiento de lavado de leña para la mitigación de contaminantes atmosféricos: carbono negro, material particulado y gases de combustión”, y en colaboración con la empresa Bosca, el objetivo general del presente trabajo de título consiste en desarrollar un modelo de radiación para simular computacionalmente el proceso de combustión de leña en una estufa de calefacción residencial que incorpora medios porosos inertes en el hogar de combustión.

1.3.2. Objetivos específicos

- Definir la situación física y áreas de transferencia de calor del hogar de combustión de una estufa de leña residencial.
- Proponer un modelo de radiación para el hogar de combustión de leña con y sin medios porosos inertes incorporados.
- Simular computacionalmente el proceso de combustión de leña utilizando Phyton.
- Evaluar resultados para diferentes condiciones de operación de la estufa de leña y comparar con resultados experimentales.

2. Marco teórico

2.1. Leña

La Biomasa se entiende como la materia orgánica renovable de origen animal o vegetal, la cual se obtiene de manera directa o producto de un procesamiento. La leña se origina de los árboles o arbustos de las especies vegetales forestales o agrícolas leñosas. Estas, al ser trozadas, se pueden utilizar con propósitos energéticos.

La leña está compuesta por celulosa, lignina, hemicelulosa, resina y otras sustancias no combustibles. Una de las relevancias de la leña radica en que a partir de esta es posible obtener otros biocombustibles derivados sólidos y líquidos, como el carbón vegetal, bioetanol y astillas. Otra característica importante es que su bajo costo y la tradición histórica hace que sea una fuente relevante de uso para muchos hogares, siendo una alternativa al petróleo o gas, sin embargo, una de las desventajas es la humedad, dado que, si es alta, disminuye el poder calorífico y aumenta la emisión de contaminantes [6].

La madera se clasifica como blanda cuando proviene de gimnospermas (árbol con semillas sin revestimiento y caen al suelo), tales como pinos y abetos; y se clasifica como dura cuando proviene de las angiospermas (plantas con flores), las cuales son especies de hojas caducas, tales como robles, fresnos, álamos, eucaliptus y árboles tropicales.

2.1.1. Antecedentes en Chile

En Chile leña es una de las principales fuentes de energías debido a su alta disponibilidad y bajo costo. Dentro de la matriz energética primaria la biomasa abarcó un 25% en el año 2018, como se ve en la Figura 2.1, a su vez, en la matriz energética secundaria, el consumo fue de un 13%, lo cual se aprecia en la Figura 2.2.

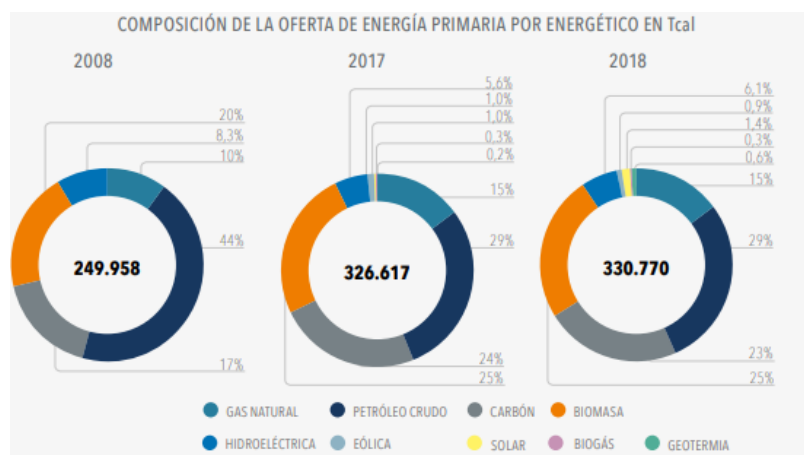


Figura 2.1 Matriz energética primaria nacional [7].

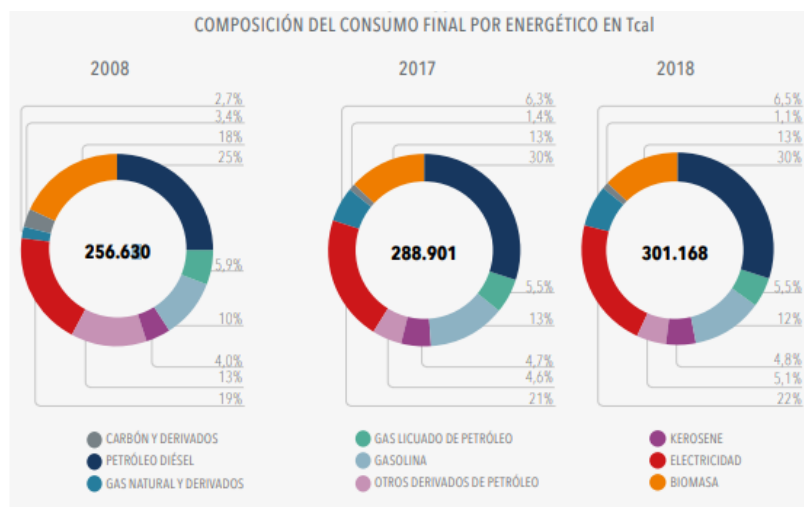


Figura 2.2 Matriz energética secundaria nacional [7].

Respecto al consumo de biomasa por sectores, en primer lugar, está el sector industrial con un 53%, seguido por el sector residencial con un 46%, para finalizar por el sector comercial con un 1%. La zona sur es la que más se caracteriza con estos indicadores debido al uso de la biomasa para calefacción residencial e industrialmente para el consumo de papel y celulosa. Entre las regiones a destacar se encuentra la región del Biobío con un consumo del 39%, Los Ríos con un 17%, los Lagos con un 15% y el Maule con un 13% [8].

Según un estudio realizado por la Corporación de Desarrollo Tecnológico (CDT) el año 2015, se puede ver que el consumo de leña para calefacción residencial ha ido en alza, observándose en la Figura 2.3, y se estima una proyección de aumento para los próximos años.

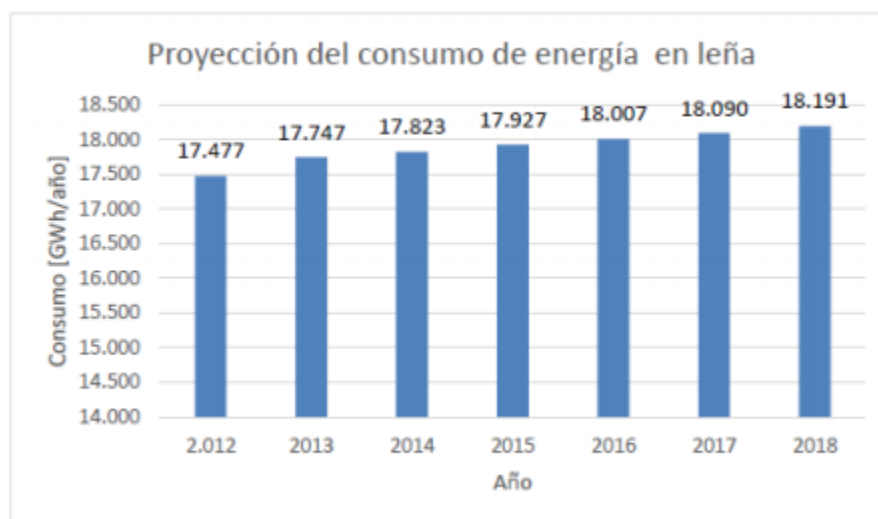


Figura 2.3 Proyección para el consumo de leña total nacional sector residencial [9].

Por último, gracias a este mismo estudio, se pueden apreciar los tipos de leña más consumidos a nivel país, donde destaca el eucalipto y el roble.

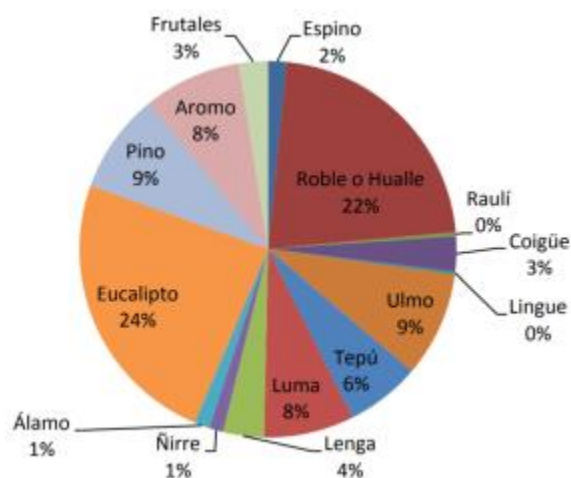


Figura 2.4 Distribución del volumen consumido por especies en el sector residencial [9].

2.1.2. Composición elemental y poder calorífico

La madera es un resultado químico de mezcla de polímeros que consta de 50 % de celulosa, 25% de lignina y 25% de hemicelulosa. Estas composiciones varían dependiendo del tipo de árbol y las condiciones de su crecimiento.

La composición elemental en general no varía con respecto al tipo de leña ni su origen, en porcentaje másico es entre 49-50% de carbono, 6% de hidrógeno, 44-45% de oxígeno y 0,1 -1 % de nitrógeno.

La propiedad más importante es el poder calorífico, que es la cantidad de energía producida después de una combustión completa, que se cuantifica por unidad de masa o volumen. Este depende de las características químicas del combustible y se clasifica por poder calorífico superior (PCS) e inferior (PCI), vale decir que el PCS es mayor dado que se toma en cuenta la energía producida por la condensación de vapor de agua. A continuación, en la Tabla 2.1 se pueden observar el PCS y PCI de las leñas más consumidas en el país, considerando leña seca.

Tabla 2.1 Poder calorífico superior e inferior de leña [10].

Especie	PCS [kJ/kg]	PCI [kJ/kg]
Eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i>)	19335	15313
Roble (<i>Nothofago obliqua</i>)	20674	16749
Pino (<i>Pinus radiata</i>)	19209	16134

2.1.3. Políticas y normativas

A partir del año 2005, en nuestro país existen dos normas para regular la calidad de la leña, las cuales son [11]:

- NCh2907.Of2005 Combustible sólido – Leña – Requisitos: Establece la clasificación y requisitos de calidad para la leña empleada como combustible sólido, la cual solo aplica a leña para uso residencial y comercial; sin mencionar desechos forestales e industriales u otros tipos de biomasa como es el pellet.
- NCh2965.Of2005 Combustible sólido – Leña – Muestreo e inspección: Describe los procedimientos de muestreo e inspección, la cual dicta el método para verificar si la leña cumple con los requisitos establecidos en la norma NCh2907.Of2005.

Estas normas certifican que la leña se encuentre con porcentajes de humedad inferior al 25%, lo que es necesario para una óptima combustión y una reducción considerable de emisiones contaminantes, además, estandarizan la venta del producto con boleta o factura, dado que, se deben mencionar las principales características del producto como el volumen, origen, humedad, etc.

Además, en el año 2016, se publica la llamada Política de Uso de Leña y sus derivados para Calefacción, que busca dar lineamientos y definir las líneas de trabajo de corto, mediano y largo plazo para mejorar la forma en que se produce, comercializa y consume la leña y sus derivados, destacando la calidad y sustentabilidad de la leña, mejora en la tecnología de calefacción y el uso de combustibles sólidos derivados de la madera como es el pellet o las astillas [12].

2.2. Material Particulado

Se denomina material particulado a una mezcla de partículas líquidas y sólidas, de sustancias orgánicas e inorgánicas, que se encuentran en suspensión. El material particulado forma parte de la contaminación del aire. Su composición es muy variada y podemos encontrar, entre sus principales componentes, sulfatos, nitratos, amoníaco, cloruro sódico, carbón, polvo de minerales, cenizas metálicas y agua. Dichas partículas además producen reacciones químicas en el ambiente.

El material particulado se cataloga en función de su tamaño y, en el ámbito de la calidad del aire, se habla de partículas MP_{10} , que serían las de mayor tamaño, cuyo diámetro aerodinámico teórico sería de 10 μm ; y las partículas finas conocidas como $MP_{2.5}$ y $MP_{1.0}$, cuyo diámetro sería de 2.5 μm y 1.0 μm respectivamente.

Para comprender el tamaño
del Material Particulado:

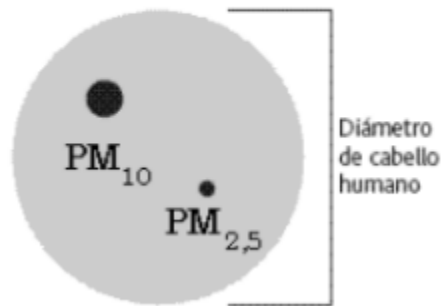


Figura 2.5 Relación de tamaño entre un cabello humano y material particulado [13].

2.2.1. Antecedentes en Chile

Según el informe del Estado del Medio Ambiente (IEMA) en el año 2018, la combustión de leña residencial fue la fuente mayoritaria de material particulado fino en todo el país, con 85.528 toneladas anuales.

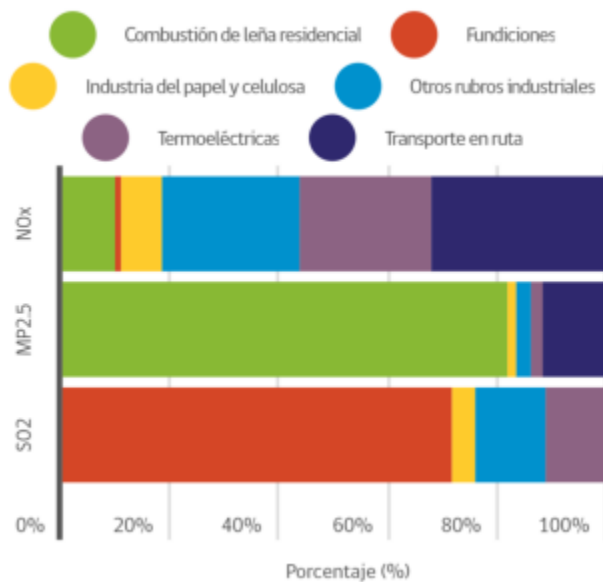


Figura 2.6 Emisiones al aire de $MP_{2.5}$, NO_x y SO_2 según tipo de fuente [14].

Chile a nivel sudamericano posee los niveles más altos contaminación de $MP_{2.5}$. Según el estudio realizado por AirVisual el año 2018, en el top 10 de las ciudades más contaminadas de Sudamérica, las primeras cinco son chilenas (Padre las Casas, Osorno, Coyhaique, Valdivia y Temuco) [15].

Por último, en la Figura 2.7 se puede apreciar las emisiones de material particulado por región, donde se ve claramente que el sur de Chile es el más afectado por este contaminante.

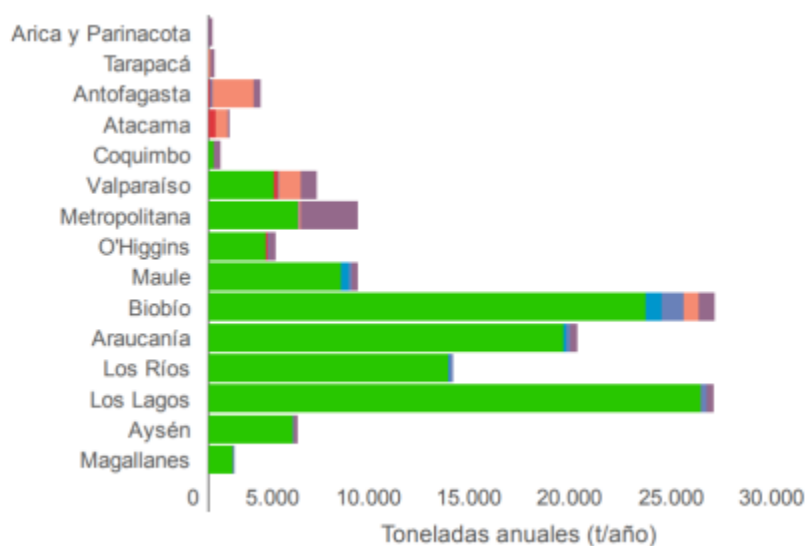


Figura 2.7 Emisión de $MP_{2,5}$ por región y tipo de fuente [14].

2.3. Estufas a leña

Actualmente en Chile, en el mercado se encuentran varios artefactos de calefacción a leña, dentro de los cuales están:

- **Salamandra:** Estufas con cámara de combustión hechas de paredes de fierro fundido, tienen limitada capacidad de control de ingreso de aire. Hoy en día, estos calefactores están siendo reemplazados por estufas de combustión lenta y su venta cada vez es menor, sin embargo, se siguen comercializando debido a su bajo costo.
- **Chimeneas:** Calefactor a leña que se construye con ladrillos refractarios, posee cámara de combustión abierta y de gran volumen. Funciona mediante “tiro natural”, donde por diferencia de temperatura y densidad entre el aire entrante y el aire saliente del artefacto, se produce la circulación de este y se proporciona el oxígeno para que haya combustión.
- **Cocinas a leña:** La capacidad calórica de las estufas a leña depende de la carbonización de la madera o de cualquier otro material orgánico. Esta debe ser depositada en un contenedor especial en la parte inferior de la cocina, que cuenta con entradas y salidas de aire que permiten el avivamiento del fuego. Estos artefactos son capaces de funcionar para calefaccionar y preparar cualquier comida.
- **Combustión lenta:** Este tipo de calefactor es construido por planchas de acero soldadas para formar la cámara de combustión y dispone de un visor de vidrio resistente a altas temperaturas en la puerta de la cámara. Tiene sellos de aire los cuales son regulables para permitir la entrada de aire para la combustión.
- **Combustión lenta de doble o triple combustión:** Esta tecnología es similar a la anterior y es la estufa a leña más utilizada actualmente, la cámara de combustión extra permite

generar una combustión más completa reduciendo la emisión de gases contaminantes y material particulado. Además, producen un considerable ahorro del combustible y un aumento de la eficiencia térmica.

De acuerdo con el estudio de Consumo Nacional de Leña y otros derivados sólidos de la madera realizado por CDT el año 2015, los artefactos a leña más utilizados a nivel nacional vienen siendo las estufas de doble cámara de combustión con un 51,6%, lo siguen las cocinas a leña con un 16,7 %, salamandra con 13,3 % y cámara simple con un 10,6 %, equipo hechizo con 5,5 %, chimenea con 2,2 % y caldera a leña con 0,1 %.

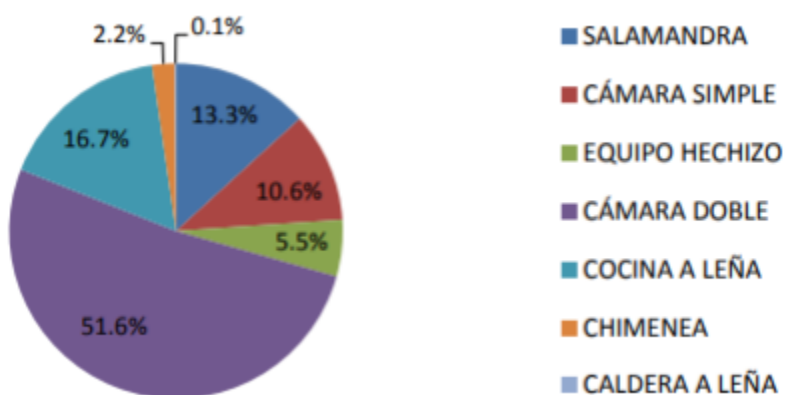


Figura 2.8 Artefactos a leña utilizados a nivel nacional en el sector residencial [9].

2.3.1. Normativa legal

En el año 2011, comienza a regir el Decreto Supremo N°39, Norma de emisión de material particulado para artefactos que combustionen o puedan combustionar leña y derivados de la madera. Este decreto aplica a todo artefacto que opere con leña y tenga potencia menor o igual a 25 [kW], trazando los límites máximos de emisión de material particulado [16].

Tabla 2.2 Límites de emisión de MP según potencia [17].

Potencia Térmica Nominal [kW]	Emisión de MP [gr/hr]
Menor o igual a 8	2,5
Mayor a 8 y menor o igual a 14	3,5
Mayor a 14 y menor o igual a 25	4,5

Dentro de la misma norma se establecen los métodos de ensayos para la medición de MP, que son el CH-28: Determinación de Material Particulado y certificación y auditoría de calefactores a leña; y el método CH-5G: Determinación de las Emisiones de Partículas de Calefactores a Leña medidas desde un Túnel de Dilución.

2.4. Bosca Spirit 380

La estufa Spirit 380, es una estufa de doble combustión, la primera se genera en la base del hogar donde se encuentra la leña y la segunda se genera en la zona del templador, pieza desmontable, ubicada antes de los ductos de escape, que es la encargada de precalentar y dirigir el aire secundario por sobre la leña creando la segunda zona de combustión.



Figura 2.9 Bosca Spirit 380.

Para que ocurra la primera combustión, la estufa posee un regulador de la entrada de aire primario. Este entra por la zona superior de la estufa a temperatura ambiente y al ser más denso que el que se encuentra en la cámara de combustión, se desliza hacia abajo por el vidrio de la puerta debido a los deflectores instalados en la zona frontal del aparato, permitiendo así que el vidrio no se ensucie o ennegrezca, luego, el aire al pasar por la zona de combustión, aumenta su temperatura y disminuye su densidad, por lo que sube hacia la segunda zona de combustión y a la parte trasera de la cámara donde se forma la denominada cortina de fuego permitiendo la quema homogénea de la leña.

La entrada de aire secundario, el cual viene precalentado, se encuentra en la parte trasera de la estufa, donde es dirigido al templador, generándose así la segunda zona de combustión quemando el material volátil producido en la primera zona, por lo cual se reduce el material particulado y emisiones contaminantes. Además, por las paredes laterales se encuentra otra zona de inyección de aire secundario más pequeños encargados de generar una turbulencia adecuada para lograr una combustión óptima.

Finalmente, estos gases suben por el ducto de escape y salen hacia el ambiente, generando un vacío dentro de la cámara, lo que permite la entrada de aire fresco, repitiéndose todo el proceso.

Cabe mencionar que el hogar combustión de la estufa se encuentra cubierto con ladrillos de vermiculita, los cuales cumplen la función de aislante, permitiendo que el calor no se escape y se genere una combustión más completa, a su vez, el templador contiene aislante en su interior el cual es lana de fibra de vidrio.

Del manual de usuario Calefactores a Leña BOSCA, se puede ver un esquema simplificado del proceso de combustión anteriormente explicado, ver Figura 2.9.



Figura 2.10 Sistema de doble combustión estufa Bosca [18].

Dentro del mismo manual de usuario y la ficha técnica del producto, se obtienen las características de la estufa Bosca Spirit 380.

Tabla 2.3 Características Bosca Spirit 380 [19].

Peso	86 [kg]
Alto	84,2 [cm]
Ancho	54,6 [cm]
Profundidad	56,5 [cm]
Rango de calefacción	40 a 120 [m ²]
Temperatura Humos	337 [°C]
Potencia	9800 [kcal] , 10,8 [kW]
Diámetro del cañón	6''
Eficiencia	67,5%
Emisión de material particulado	3,04 [g/h]

2.5. Medios porosos inertes

Un medio poroso es un sólido inerte con zonas sin material en su interior, esto permite que un fluido pase o se quede dentro de estos poros. La literatura señala que la estructura y la forma de los poros de un MPI afectan el transporte de calor por radiación térmica, mientras que los “puentes de contacto” en una estructura porosa afectan el transporte de calor por conducción. La porosidad afecta por su parte el transporte de calor por convección.

Se ha verificado a través de varios estudios que el rendimiento térmico de los procesos de combustión de gases que utilizan cerámicas porosas aumenta, además, el uso de estas se ha asociado a reducciones considerables de emisiones de CO y NO_x [20], mientras se opera tanto en condiciones de oxidación parcial como de combustión. Este fenómeno se ha atribuido a la estabilidad térmica conseguida en la matriz porosa gracias a la recirculación de calor de la zona de reacción a la mezcla gaseosa fresca mediante radiación y conducción, proporcionando así temperaturas más estables en la zona de reacción y disminuyendo picos de temperatura locales no deseados [21].

Los materiales de medios porosos más usados son Alúmina Al_2O_3 , Carburo de Silicio SiC y Dióxido de Zirconio ZrO_2 , debido a sus propiedades de alta resistencia a la temperatura, emisividad, conductividad y resistencia a los golpes térmicos [22].

Algunas propiedades termofísicas de estas cerámicas porosas son:

Tabla 2.4 Propiedades termofísicas de MPI [22].

Property	Al_2O_3	SiC	ZrO_2
Maximun usage temperature in air ($^{\circ}C$)	1900	1600	2300
Thermal conductivity at 1000 $^{\circ}C$ ($Wm^{-1}K^{-1}$)	5-6	20-50	2-4
Total emissivity at 2000 K	0,28	0,9	0,31
Coefficient of linear thermal expansion from 20-1000 $^{\circ}C$ ($10^{-6}K^{-1}$)	8	4-5	10-13
Resistance to mild thermal shock ($10^{-3}W^{-1}$)	3	23	1

2.5.1. Combustión en MPI

La combustión en medios porosos se produce dentro de las cavidades de una matriz inerte. Los MPI facilitan la recirculación interna de calor de la llama y productos de combustión a los reactantes mediante conducción, convección y radiación en la matriz porosa sólida, esto se explica a través del principio de exceso de entalpía.

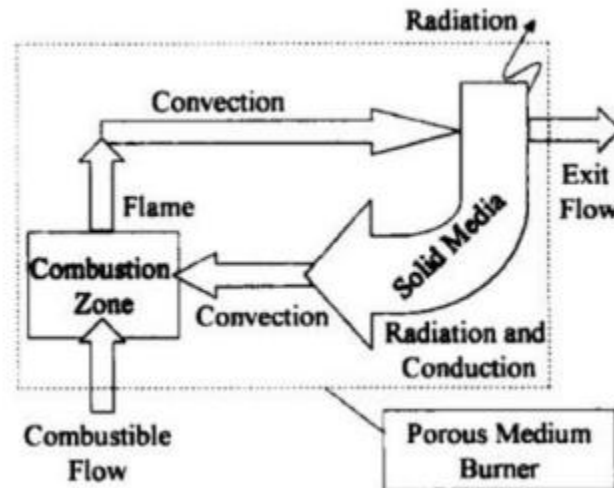


Figura 2.11 Teoría del exceso de entalpía en MPI [23].

El exceso de entalpía describe la cantidad de energía entregada por los productos de la combustión a los reactantes para incrementar su temperatura, provocando efectos importantes en la velocidad de combustión, límites de inflamabilidad y el perfil de temperatura de flama.

Durante la combustión en un MPI se diferencian 3 zonas principales. La primera es donde ingresa la premezcla aire-combustible y es precalentada. La segunda zona es donde ocurre la reacción química transformando la mezcla en productos y liberando energía, entonces, es la zona donde se produce combustión. Por último, la tercera zona, es donde los productos de combustión transfieren su energía a los reactantes y al medio poroso en sí.

Algunas de las ventajas obtenidas de la combustión en medios porosos son:

- Incremento en la eficiencia de combustión.
- Disminución en las emisiones de CO y NO_x .
- Gran estabilidad del proceso de combustión.
- Obtención de hidrógeno y gas de síntesis desde mezclas ricas.
- Valorización de los gases de desechos con bajo poder calorífico a partir de mezclas pobres.

2.6. Transferencia de Calor por Radiación

Por el hecho de encontrarse a una cierta temperatura, todos los cuerpos emiten radiación electromagnética con unas características que dependen del cuerpo y de la temperatura de emisión. En la transferencia de calor por radiación un cuerpo cede parte de su energía interna a través de la emisión de ondas electromagnéticas (que viajan a la velocidad de la luz y no necesitan de un medio material para su propagación). Al absorberse estas ondas electromagnéticas por

otros cuerpos, su energía pasa de nuevo a un movimiento térmico de las moléculas y, por tanto, a un aumento de temperatura.

Así, el proceso de intercambio de calor por radiación es un proceso de absorción y emisión posterior de energía en forma de fotones por parte de los átomos y moléculas de una sustancia.

La radiación electromagnética se caracteriza bien por su longitud de onda λ , por su frecuencia de oscilación ν , relacionadas ambas por la expresión $\nu = c/\lambda$, donde c es la velocidad de propagación. Todos los tipos de radiación electromagnética no son en el fondo más que ondas de distintas longitudes. Así, la diferencia fundamental entre los rayos γ , los rayos X, la radiación ultravioleta, la radiación visible, la radiación infrarroja, la radiación de microondas o las radiofrecuencias no está en su naturaleza, sino en las distintas energías de cada fotón u onda electromagnética dadas por $h \cdot \nu$, con $h = 6,624 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$, la constante de Planck.

Los rangos correspondientes a los distintos tipos de radiación electromagnética se muestran a continuación:

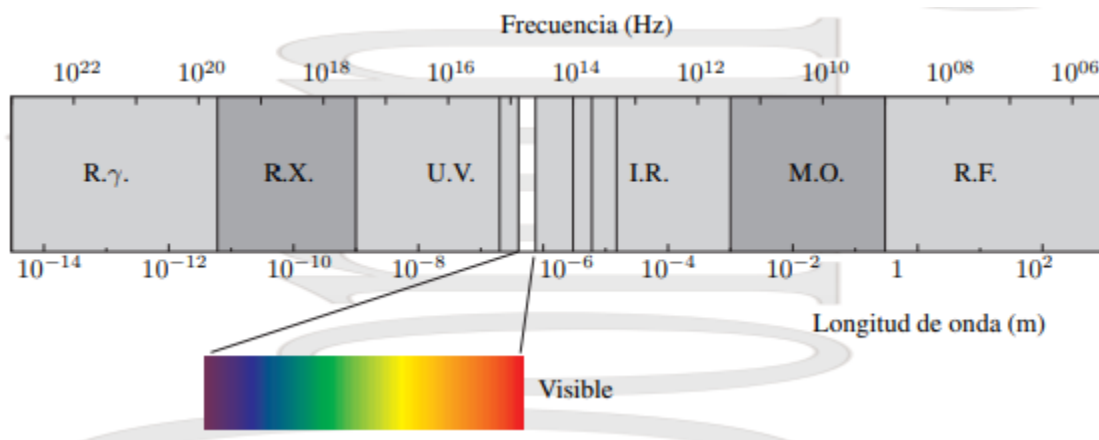


Figura 2.12 Espectro de Radiación Electromagnética [24].

Se denomina radiación térmica a la radiación electromagnética de una longitud de onda λ comprendida típicamente en el rango de 0,1 a 100 μm . Este es el intervalo que corresponde a la radiación emitida por los cuerpos debido al hecho de encontrarse a una determinada temperatura.

La radiación térmica tiene su origen en el movimiento vibracional y rotacional de los átomos, electrones y moléculas de una sustancia, fenómenos que están fuertemente relacionados con la temperatura, por este motivo, al aumentar la temperatura aumenta la emisión de radiación térmica.

2.6.1. Radiación de cuerpo negro

A una temperatura encima de cero Kelvin, un cuerpo emite radiación en todas direcciones en un amplio rango de longitudes de onda. La cantidad de energía de radiación emitida desde una superficie, a una longitud de onda dada, depende del material del cuerpo y de la temperatura a la que esté. Por lo tanto, cuerpos diferentes pueden emitir cantidades diferentes de radiación por unidad de área de superficie, incluso cuando se encuentran a la misma temperatura. Por lo mismo, se necesita saber la cantidad máxima de radiación que puede ser emitida por una superficie a una temperatura dada. La solución requiere la definición de un cuerpo idealizado, conocido como cuerpo negro, que sirva como estándar con el cual se puedan comparar las propiedades de radiación de las superficies reales.

Un cuerpo negro se define como un emisor y absorbedor perfecto de la radiación. A una temperatura y una longitud de onda específica, ninguna superficie puede emitir más energía que un cuerpo negro. Un cuerpo negro absorbe toda la radiación incidente, sin importar la longitud de onda. Así mismo, emite energía de radiación de manera uniforme en todas direcciones, por unidad de área normal a la dirección de emisión. Es decir, un cuerpo negro es un emisor difuso, lo que significa que es “independiente de la dirección”. La energía de radiación emitida por un cuerpo negro por unidad de tiempo y por unidad de área superficial fue determinada de manera experimental por Joseph Stefan, en 1879, y la expresó como:

$$E_b = \sigma \cdot T^4 \frac{W}{m^2} \quad (1)$$

en donde $\sigma = 5,670 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$ es la constante de Stefan-Boltzmann y T es la temperatura de la superficie en Kelvin. Esta relación fue verificada teóricamente en 1884, por Ludwig Boltzmann. La ecuación (1) se conoce como ley de Stefan-Boltzmann y E_b se llama poder de emisión de cuerpo negro.

2.6.2. Emisividad

La emisividad de una superficie representa la razón entre la radiación emitida por la superficie a una temperatura dada y la radiación emitida por un cuerpo negro a la misma temperatura. Este valor se denota por ε y varía entre 0 y 1, $0 \leq \varepsilon \leq 1$, a su vez, la emisividad depende del tipo de material de la superficie, su rugosidad y temperatura a la cual esté. Por último, esta propiedad es una medida de cuán cerca se aproxima una superficie a un cuerpo negro, para el cual $\varepsilon = 1$.

2.6.3. Absortividad, reflectividad y transmisividad

Todo lo que nos rodea emite radiación en forma constante y la emisividad representa las características de emisión de esos cuerpos. Esto significa que todo cuerpo, incluyendo el nuestro, es constantemente bombardeado por radiación proveniente de todas direcciones en un intervalo de longitudes de onda.

Cuando la radiación choca con una superficie, parte de ella es absorbida, parte de ella es reflejada y la parte restante, si la hay, es transmitida. La fracción de irradiación absorbida por la superficie se llama absorptividad α , la fracción reflejada por la superficie recibe el nombre de reflectividad ρ , y la fracción transmitida denomina transmisividad τ ; es decir:

$$\alpha = \frac{\text{Radiación absorbida}}{\text{Radiación incidente}}, 0 \leq \alpha \leq 1$$

$$\rho = \frac{\text{Radiación reflejada}}{\text{Radiación incidente}}, 0 \leq \rho \leq 1$$

$$\tau = \frac{\text{Radiación transmitida}}{\text{Radiación incidente}}, 0 \leq \tau \leq 1$$

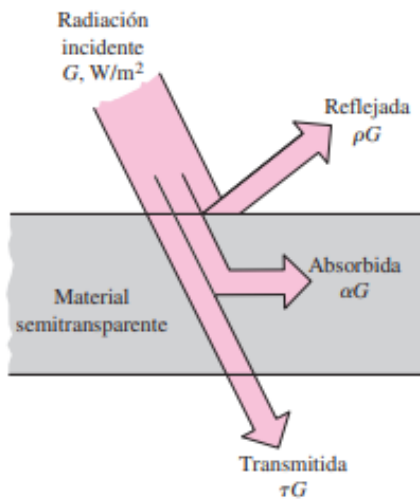


Figura 2.13 Absorción, reflexión y transmisión de radiación [25].

La primera ley de la termodinámica requiere que la suma de energía de radiación absorbida, reflejada y transmitida sea igual a la radiación incidente, por ende, el balance de energía es:

$$\alpha + \rho + \tau = 1 \quad (2)$$

2.6.4. Radiosidad e irradiación

- Irradiación:

Todas las superficies emiten radiación, pero también reciben la emitida o reflejada por otras superficies. El flujo de radiación incidente sobre una superficie desde todas direcciones se llama irradiación.

- Radiosidad:

Las superficies emiten radiación y la reflejan; por lo tanto, la radiación que sale de una superficie consta de componentes emitidas y reflejadas. El cálculo de la transferencia de calor por radiación

entre superficies comprende la energía total de radiación que emana de una superficie, sin importar su origen. Por ende, se define una cantidad que represente la razón a la cual la energía de radiación sale de una unidad de área de una superficie en todas direcciones. Esta cantidad se le llama radiosidad.

Para un cuerpo negro, la radiosidad es equivalente al poder de emisión E_b , ya que un cuerpo de este tipo absorbe toda la radiación incidente sobre él y no hay componente reflejada.

2.6.5. Ley de Kirchhoff

Para un cuerpo con cierta emisividad, absorptividad y temperatura dada, contenido en un recinto cerrado isotérmico en equilibrio termodinámico, la radiación que incide sobre cualquier parte del cuerpo es igual a la emitida. Por lo que se concluye que:

$$\varepsilon = \alpha \quad (3)$$

Esta relación, que simplifica mucho los análisis relativos a la radiación, fue desarrollada por primera vez por Gustav Kirchhoff en 1860 y ahora se le conoce como ley de Kirchhoff, la cual se obtiene con la condición de que la temperatura superficial sea cercana a la temperatura de la fuente de irradiación y se debe tener cuidado en no usarla cuando exista una diferencia considerable (más de unos cuantos cientos de grados) entre estas.

También se puede repetir la deducción antes dada para la radiación a una longitud de onda específica, esta relación es válida cuando la irradiación o la radiación emitida son independientes de la dirección. Es decir, la emisividad de una superficie a una longitud de onda, una dirección y una temperatura específica siempre es igual a su absorptividad a la misma longitud de onda, dirección y temperatura.

Es muy ventajoso utilizar la ley de Kirchhoff en el análisis de la radiación, puesto que la relación $\varepsilon = \alpha$ junto con $\rho = 1 - \alpha$, permite determinar las tres propiedades de una superficie opaca a partir del conocimiento de solo una de ellas. Sin embargo, en la práctica se debe tener cuidado cuando existe una diferencia considerable entre la temperatura de la superficie y la de la fuente de radiación incidente.

2.6.6. Factor de forma

Para determinar el intercambio de calor por radiación entre superficies hay que determinar la radiación emitida por cada una y que llega a las otras, esto se denomina factor de forma, también llamado factor de configuración, visión o ángulo. El factor de forma desde una superficie i a una superficie j , F_{i-j} , se define como la fracción de la radiación emitida por la superficie i que incide sobre la superficie j , o, en otras palabras, es interceptada por j .

Los factores de forma dependen exclusivamente de la geometría de las superficies, sin embargo, la determinación analítica de sus valores resulta complicada, por ende, numéricamente se han elaborado fórmulas, tablas y gráficos para resolver distintos tipos de casos, pudiéndose así solucionar los más complejos mediante combinación de soluciones numéricas y álgebra de factores de forma.

En el álgebra de factores de forma se encuentran las siguientes propiedades:

- En primer lugar, se encuentra la relación de reciprocidad, la cual permite determinar la contraparte de un factor de visión a partir del conocimiento del propio factor y de las áreas de las dos superficies

$$A_i \cdot F_{i-j} = A_j \cdot F_{j-i} \quad (4)$$

- La regla de la superposición se conoce como el factor de visión desde una superficie i hacia un conjunto de superficies que es igual a la suma de los factores de visión desde la superficie i hacia las todas partes del conjunto:

$$F_{i-j,k,m} = F_{i-j} + F_{i-k} + F_{i-m} \quad (5)$$

- Por último, para un recinto cerrado de n superficies, la suma de los factores de forma de una superficie al resto es siempre igual a 1, a esto se le denomina la Regla de la suma.

$$\sum_{j=1}^n F_{i-j} = 1 \quad (6)$$

2.6.7. Transferencia neta de calor entre superficies negras

Ya estudiados los conceptos principales, se puede calcular la transferencia de calor por radiación entre superficies considerándolas cuerpo negro, es decir, $\varepsilon = 1$, lo cual se hace de la siguiente manera:

El flujo de calor radiante que va desde la superficie j a k es:

$$\dot{Q}_{j-k} = E_{bj} \cdot A_j \cdot F_{j-k} \quad (7)$$

El flujo de calor radiante que va desde la superficie k a j es:

$$\dot{Q}_{k-j} = E_{bj} \cdot A_k \cdot F_{k-j} \quad (8)$$

Por ende, la transferencia de calor neta desde j a k es:

$$\dot{Q}_{j \rightarrow k} = \dot{Q}_{j-k} - \dot{Q}_{k-j} \quad (9)$$

Lo que es igual a:

$$\dot{Q}_{j \rightarrow k} = A_j \cdot F_{j-k} \cdot \sigma \cdot (T_j^4 - T_k^4) \quad (10)$$

Una vez sabido el cálculo de la transferencia neta de calor entre superficies negras, es posible comprender mejor la transferencia de calor entre superficies grises u opacas, o sea, $\varepsilon < 1$, que es el modelo que se aplica en la simulación numérica del presente trabajo.

3. Simulación computacional

3.1. Modelo Radiativo

3.1.1. Intercambio radiativo entre superficies grises

Para modelar la transferencia de calor por radiación en una estufa de combustión de leña residencial, específicamente Bosca Spirit 380, se desarrolla un modelo radiativo de la cámara de combustión, estudiando el comportamiento térmico al interior.

La estufa se considera un recinto cerrado con un conjunto de superficies opacas transmitiéndose calor por radiación entre sí, a este modelo se le llama intercambio radiativo entre superficies grises. Al ser superficies opacas, se considera transmisividad $\tau = 0$.

Por consiguiente, el balance de energía de la ecuación (2) queda de la siguiente manera:

$$\alpha + \rho = 1 \quad (11)$$

A su vez, para términos de emisividad y absorptividad, se aplica la ley de Kirchhoff para cada superficie, dado que las superficies del hogar de combustión no poseen una diferencia de temperatura considerable con la fuente de calor incidente (llama). Lo que significa que:

$$\varepsilon = \alpha \quad (12)$$

Con los conceptos previos explicados anteriormente, se deduce que cada pared recibe un flujo de radiación incidente (irradiación) llamado q_i y emana un flujo de calor (radiosidad) llamado q_o .

Por ejemplo, la radiosidad de la pared j será:

$$\dot{q}_{o,j} = \varepsilon_j \cdot E_{bj} + (1 - \varepsilon_j) \cdot \dot{q}_{i,j} \quad (13)$$

De esta forma, para un conjunto de superficies, luego de grandes despejes algebraicos y considerando gases de combustión dentro del recinto, el sistema a resolver para despejar los flujos de calor es el siguiente [26]:

$$[C] \cdot [\dot{q}] = [B] \quad (14)$$

Donde la matriz C es:

$$C_{jk} = \frac{1}{\varepsilon_k} (\delta_{jk} - (1 - \varepsilon_k) F_{jk} \cdot \tau_g) \quad (15)$$

Y el vector B es:

$$B_j = \sigma \left[\left(\sum_k (\delta_{jk} - F_{jk} \tau_g) T_k^4 \right) - \varepsilon_g \cdot T_g^4 \right] \quad (16)$$

Siendo ε_k : emisividad de la pared k; δ_{jk} : delta Dirac; F_{jk} : factor de forma de la pared j a la pared k; τ_g : transmisividad del gas; ε_g : emisividad del gas; T_k : temperatura de la pared k; T_g : temperatura del gas en el hogar de combustión.

Ya obtenidos los flujos de calor para cada pared, al ser un modelo ideal y estacionario (sin pérdidas ni acumulación), todo el flujo de calor por radiación que llega a cada superficie se transfiere por conducción en la pared y se libera por convección y radiación hacia el ambiente. Por ende, cada flujo de calor calculado se multiplica por el área de la superficie y teniendo la temperatura ambiental constante como condición de borde, se calcula la Temperatura exterior despejándola del balance de energía:

$$\dot{Q}_{cond} = \dot{Q}_{conv} + \dot{Q}_{rad} \quad (17)$$

Sabiendo que:

$$\dot{Q}_{conv} = h \cdot A \cdot (T_{ext} - T_{\infty}) \quad (18)$$

$$\dot{Q}_{rad} = \sigma \cdot \varepsilon_e \cdot A (T_{ext}^4 - T_{\infty}^4) \quad (19)$$

Con h : coeficiente de convección; A : área de la superficie considerada; T_{ext} : temperatura de la cara exterior de la superficie considerada; T_{∞} : temperatura ambiental circundante al exterior del modelo.

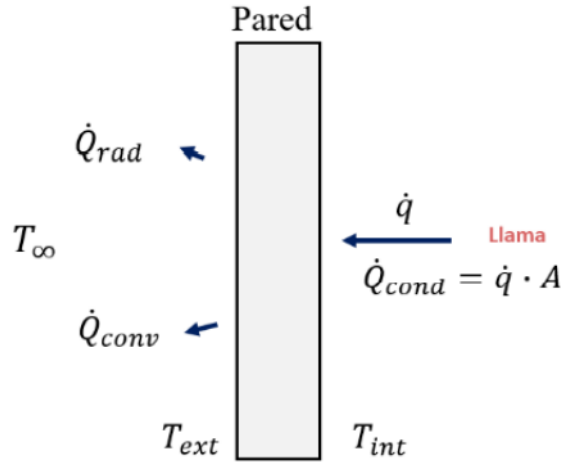


Figura 3.1 Esquema modelo radiativo.

Luego, se recalculan las temperaturas interiores utilizando resistencias térmicas por conducción en las paredes, dando paso así a un proceso iterativo. En caso de tener más de un material en la pared, las resistencias se suman en serie.

$$\dot{Q}_{cond} = \frac{T_{int} - T_{ext}}{R_t} \quad (20)$$

$$R_t = \frac{\delta}{k \cdot A} \quad (21)$$

Siendo δ : espesor de pared; k : conductividad térmica del sólido; y A : área de la pared, transversal al flujo de calor por conducción.

3.1.2. Propiedades radiativas del gas

Para obtener las propiedades radiativas de los gases producto de la combustión, se deben calcular su cantidad de moles.

En primer lugar, se necesita saber la composición elemental del combustible a utilizar, para así calcular el volumen de aire estequiométrico normalizado, que es la cantidad necesaria de aire para quemar 1 kg de combustible. Este se calcula mediante:

$$V_{a,e} = \frac{22,4}{0,21} \cdot \left(\frac{x_c}{12,01} + \frac{x_h}{4,032} + \frac{x_s}{32,06} - \frac{x_o}{32} \right) \left[\frac{Nm^3}{kg} \right] \quad (22)$$

A su vez, la cantidad de moles de los gases productos viene determinada por:

$$n_{CO_2} = \frac{x_c}{12,01} \left[\frac{kmol}{kg} \right] \quad (23)$$

$$n_{H_2O} = \frac{x_H}{2,016} \left[\frac{kmol}{kg} \right] \quad (24)$$

$$n_{SO_2} = \frac{x_s}{32,06} \left[\frac{kmol}{kg} \right] \quad (25)$$

$$n_{O_2} = \frac{0,21}{22,04} \cdot (\lambda - 1) \cdot V_{a,e} \left[\frac{kmol}{kg} \right] \quad (26)$$

$$n_{N_2} = \frac{0,79}{22,04} \cdot \lambda \cdot V_{a,e} + \frac{x_N}{28,014} \left[\frac{kmol}{kg} \right] \quad (27)$$

$$n_t = n_{CO_2} + n_{H_2O} + n_{SO_2} + n_{O_2} + n_{N_2} \quad (28)$$

En donde λ es la relación aire-combustible, para un $\lambda=1$, se considera ingreso de aire estequiométrico, o sea, la cantidad justa para que ocurra combustión completa.

Una vez calculado la cantidad de moles de los gases producto, se procede a calcular la fracción molar de los gases, en este caso específico, se necesita calcular la fracción molar solo del agua y del dióxido de carbono, ya que el resto de los gases se consideran transparentes (no absorben ni emiten calor).

$$y_{CO_2} = \frac{n_{CO_2}}{n_t} \quad (29)$$

$$y_{H_2O} = \frac{n_{H_2O}}{n_t} \quad (30)$$

Luego se procede a calcular la presión parcial de estos gases, multiplicando sus fracciones molares por la presión en la que se encuentran.

Después de esto, se procede a calcular la emisividad del gas (agua y dióxido de carbono) mediante funciones de Leckner [27].

Primero se calcula la longitud media del haz, que incluye el volumen total donde se encuentran los gases de combustión y la suma de todas las áreas de las superficies que rodean a tal gas.

$$L = 3,6 \cdot \frac{V_{gas}}{\sum A} \cdot 100 [cm] \quad (31)$$

Las ecuaciones para calcular la emisividad de los gases de combustión se muestran a continuación:

$$\begin{aligned} \epsilon(p_a L, p, T_g) &= \epsilon_0(p_a L, T_g) \frac{\epsilon}{\epsilon_0}(p_a L, p, T_g) \\ \frac{\epsilon}{\epsilon_0}(p_a L, p, T_g) &= \left[1 - \frac{(a-1)(1-P_E)}{a+b-1+P_e} \exp \left\{ -c \left[\log_{10} \frac{(p_a L)_m}{p_a L} \right]^2 \right\} \right] \\ \epsilon_0(p_a L, T_g) &= \exp \left[\sum_{i=0}^M \sum_{j=0}^N c_{ji} \left(\frac{T_g}{T_0} \right)^j \left(\log_{10} \frac{p_a L}{(p_a L)_0} \right)^i \right] \end{aligned}$$

Figura 3.2 Ecuaciones de emisividad obtenidas de funciones de Leckner [27].

En donde L es la longitud media del haz, p_a es la presión parcial del gas respectivo, p es la presión a la que se encuentran los gases, T_g es la temperatura media del gas al interior del hogar de combustión.

Los parámetros restantes están dados por:

Tabla 3.1 Constantes de correlación para la determinación de la emisividad total para vapor de agua y dióxido de carbono [27].

Gas	Water Vapor	Carbon Dioxide
M, N	2, 2	2, 3
$c_{00} \quad \dots \quad c_{N0}$	-2.2118 -1.1987 0.035596	-3.9893 2.7669 -2.1081 0.39163
$\vdots \quad \ddots \quad \vdots$	0.85667 0.93048 -0.14391	1.2710 -1.1090 1.0195 -0.21897
$c_{0M} \quad \dots \quad c_{NM}$	-0.10838 -0.17156 0.045915	-0.23678 0.19731 -0.19544 0.044644
P_E	$(p + 2.56p_a/\sqrt{t})/p_0$	$(p + 0.28p_a)/p_0$
$(p_a L)_m/(p_a L)_0$	$13.2t^2$	$0.054/t^2, \quad t < 0.7$ $0.225t^2, \quad t > 0.7$
a	$2.144, \quad t < 0.75$ $1.888 - 2.053 \log_{10} t, \quad t > 0.75$	$1 + 0.1/t^{1.45}$
b	$1.10/t^{1.4}$	0.23
c	0.5	1.47
$T_0 = 1000 \text{ K}, \quad p_0 = 1 \text{ bar}, \quad t = T/T_0, \quad (p_a L)_0 = 1 \text{ bar cm}$		

Dado que las longitudes de onda del Dióxido de Carbono y el Agua se superponen, se debe calcular un factor de corrección, dado por:

$$\epsilon_{\text{CO}_2+\text{H}_2\text{O}} = \epsilon_{\text{CO}_2} + \epsilon_{\text{H}_2\text{O}} - \Delta\epsilon$$

$$\Delta\epsilon = \left(\frac{\zeta}{10.7 + 101\zeta} - 0.0089\zeta^{10.4} \right) \left[\log_{10} \frac{(p_{\text{H}_2\text{O}} + p_{\text{CO}_2})L}{(p_a L)_0} \right]^{2.76}$$

donde, $\zeta = \frac{p_{\text{H}_2\text{O}}}{p_{\text{H}_2\text{O}} + p_{\text{CO}_2}}$

Figura 3.3 Factor de corrección para emisividad de funciones de Leckner [27].

Para el cálculo de la absorptividad del gas, se utilizan las mismas funciones salvo que varían ciertos parámetros. La longitud media del haz se multiplica por el promedio ponderado de las superficies que delimitan la cavidad radiante (T_s), dividido por la temperatura del gas., de tal forma: $L_2 = L \cdot \frac{T_s}{T_g}$. A su vez, el factor t ya no es $t = \frac{T_g}{T_0}$, si no que T_g se cambia por la temperatura promedio recién indicada, siendo $t = \frac{T_s}{T_0}$. En efecto, la absorptividad final del gas está dada por:

$$\alpha = \left(\frac{T_g}{T_s} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot (\alpha_{\text{CO}_2} + \alpha_{\text{H}_2\text{O}}) - \Delta\alpha \quad (32)$$

Por último, la transmisividad del gas es $\tau = 1 - \alpha$.

3.1.3. Inclusión de MPI en la cámara de combustión.

Para la posterior inclusión de medios porosos inertes en la simulación computacional, se necesitan datos experimentales para modelarlos radiativamente, estos se encuentran en el trabajo de título de Fernanda Inostroza [28], donde se quemó 0,99 kg de leña seca.

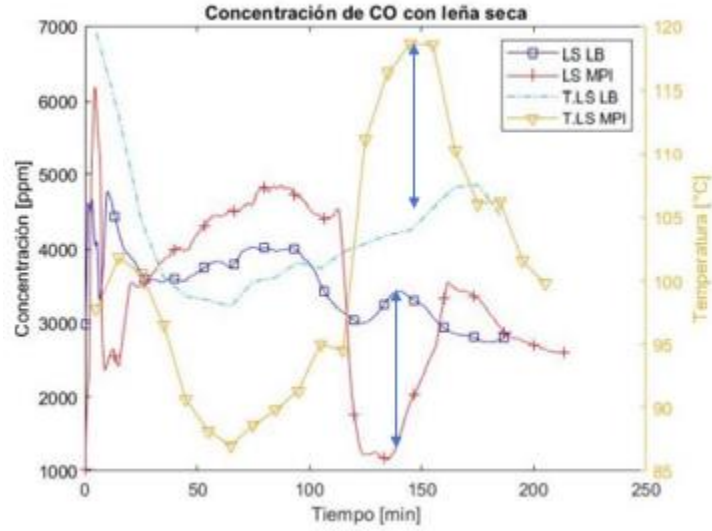


Figura 3.4 Concentración de CO en el hogar de combustión, Fernanda Inostroza [28].

En este gráfico se puede apreciar la concentración de Monóxido de Carbono en ensayos de leña seca sin y con incluir medios porosos, por ende, en el modelo se considera que solo hubo una supuesta combustión de este gas en los MPI integrados. A su vez, se observa que con medios porosos, en el instante de mayor diferencia de temperatura y ppm, se consumieron 2000 ppm de CO en un rango de tiempo de 30 minutos, $\Delta ppm = 2000$, por ende se calculó el flujo másico del CO que supuestamente se consumía al combustionarse, y así, junto al poder calorífico, $PCI_{CO} = 10100 \left[\frac{kJ}{kg} \right]$, se obtuvo el calor total aportado por éstos [29]:

$$ppm = \frac{mg_{CO}}{kg_{total}} \quad (33)$$

$$\Rightarrow \dot{m}_{CO} = 3,3 \cdot 10^{-6} \left[\frac{kg}{s} \right] \quad (34)$$

$$\dot{Q} = \dot{m}_{CO} \cdot PCI_{CO} \quad (35)$$

$$\dot{Q} = 33,3 [W] \quad (36)$$

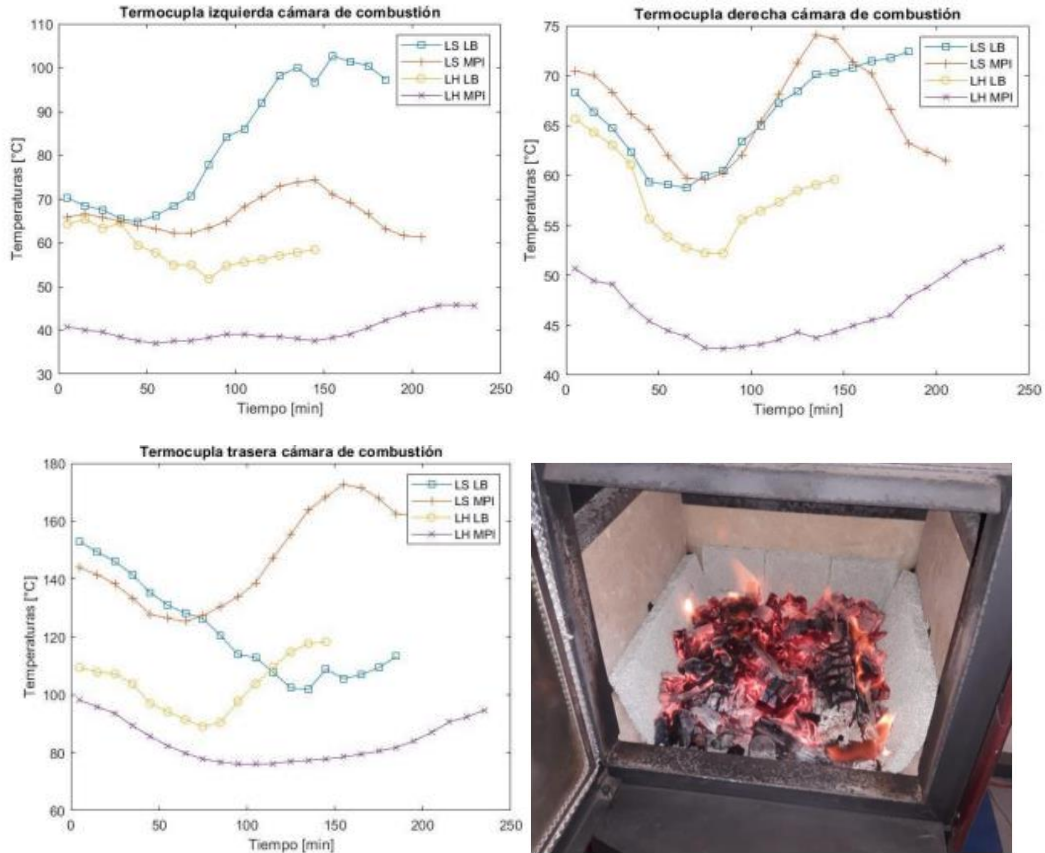


Figura 3.5 Resultados experimentales, Fernanda Inostroza [28].

De los resultados experimentales se puede suponer que solo hubo reacción de combustión en los medios porosos ubicados en la zona trasera de la estufa, dado que es la única cara que presenta aumentos de temperatura, por ende, se obtendrá el flujo de calor aportado por éstos por unidad de área, la cual es el ancho del hogar de combustión (36 cm) por la altura de los MPI utilizados (10 cm):

$$\dot{q} = \frac{\dot{Q}}{A} \quad (37)$$

$$\Rightarrow \dot{q} = \frac{28,08}{0,36 \cdot 0,1} = 925 \frac{W}{m^2} \quad (38)$$

En la simulación computacional del modelo radiativo, en la cara que vaya el medio poroso, al considerarse que haya combustión, se le sumará este $\dot{q}$ multiplicado por su área respectiva.

Cabe mencionar que la temperatura de ignición del CO es de 605 °C [30], por ende, es el requisito para simular que haya una supuesta combustión en dicha superficie.

3.1.4. Proceso iterativo

Ya definidas las ecuaciones y la formulación del modelo radiativo utilizado en la simulación computacional, se procede a explicar el proceso iterativo para obtener los resultados. En primer lugar, se insertan las propiedades térmicas y físicas de los materiales en el hogar de combustión, las áreas de las superficies respectivas y las condiciones de borde e iniciales. Luego, se procede a calcular los factores de forma entre todas las superficies. Por consiguiente, se calcula la emisividad, absorptividad y transmisividad del gas dentro de la cámara de combustión mediante funciones de Leckner. A su vez, se suponen temperaturas iniciales al interior del hogar de combustión para empezar a iterar, aplicando así al modelo radiativo de la ecuación (8). Después se obtienen las temperaturas al exterior del hogar mediante el balance de energía de la ecuación (11). Por último, se recalculan las temperaturas interiores gracias a la resistencia térmica de los materiales, explicado en la ecuación (14). El programa creado irá calculando las temperaturas interiores y exteriores más los flujos de calor que reciben las superficies del hogar de combustión hasta que los resultados converjan.

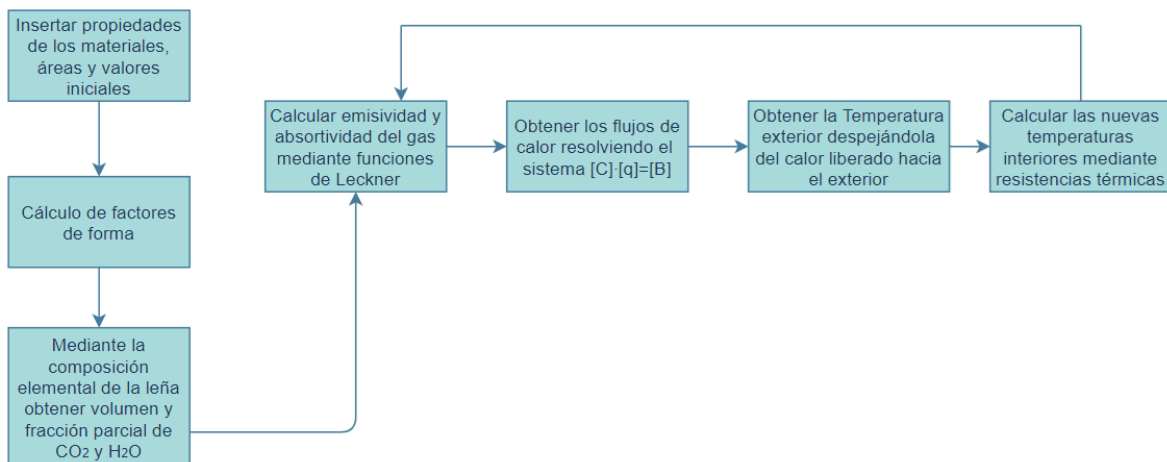


Figura 3.6 Proceso iterativo del Modelo Radiativo.

3.1.5. Consideraciones

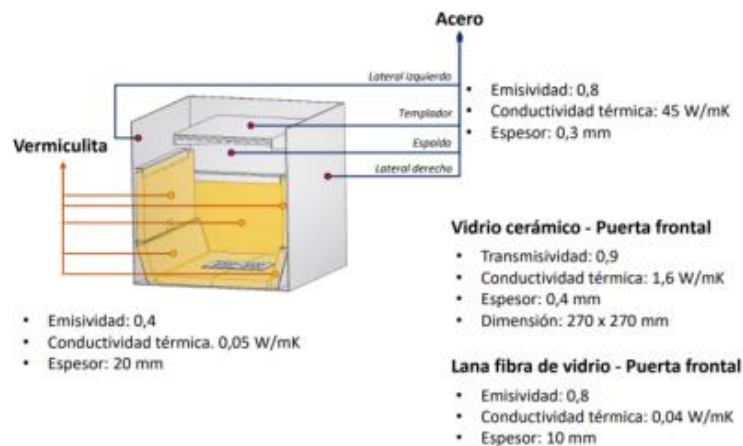
Si bien el modelo radiativo es un buen aproximado para modelar el comportamiento térmico al interior de la estufa, este deja afuera varias consideraciones, las cuales son:

- Modelo ideal y estacionario, sin pérdidas ni acumulación de energía.
- No se considera transferencia de calor por convección ni fluidodinámica dentro del hogar de combustión.

- Se considera conducción solo transversal en las paredes.
- No se considera lo que el ingreso de aire afecta a las Temperaturas en todas las caras.
- Propiedades de los materiales constantes, no varían con respecto a la temperatura.

3.2. Situación física a modelar

El modelo radiativo desarrollado para el cálculo de los flujos de calor y temperatura dentro del calefactor residencial, considera en primer lugar, la simplificación de la geometría de la cámara. En particular, se aproxima la superficie superior por una cara paralela a la base de la cámara, a diferencia de la inclinación del templador real. Esto, de forma de facilitar el desarrollo matemático posterior. A su vez, se consideran las paredes internas cubiertas de material aislante (vermiculita), y acero hacia el exterior. En el caso de la pared frontal, esta se compone de una sección de vidrio cerámico rodeada de lana de fibra de vidrio como aislante cubierta de acero.



(a)



(b)

Figura 3.7 Cámara de combustión calefactor residencial marca BOSCA modelo Spirit 380: (a) geometría, materiales y propiedades termo-físicas reales de la cámara de combustión; y (b) modelo aproximado de la cámara de combustión.

El aislante térmico vermiculita es de 2 cm de espesor y recubre las paredes laterales y trasera (espalda), a su vez, el acero hacia el exterior posee un espesor de 3 mm. La cara delantera (puerta) posee un vidrio de 27 por 27 cm y espesor de 4 mm, rodeado por acero de 3 mm de espesor con aislante de lana de fibra de vidrio en su interior de espesor de 1 cm. El templador tiene un espesor de 3,5 cm; donde posee 2 cm de aislante de lana de fibra de vidrio a su interior y 1,5 cm de acero. Vale decir que se modela solo lo que ocurre en la primera cámara de combustión, o sea, debajo del templador. La cámara posee un alto de 30,9 cm; ancho de 36 cm; profundidad de 38,1 cm [31].

Las propiedades termo-físicas de los materiales mencionados son:

Tabla 3.2 Propiedades termofísicas de los materiales dentro del hogar de combustión [32] [33] [34] [35].

Material	Emisividad	Conductividad Térmica $k \left[\frac{W}{m \cdot K} \right]$
Vermiculita	0,4	0,05
Acero	0,8	45
Lana de fibra de vidrio	0,8	0,04
Vidrio cerámico	$\tau = 0,9$	1,6

Ya que el modelo radiativo aplicado es de superficies opacas, es decir, no considera transmisividad para las paredes, en el caso de vidrio cerámico, que si bien consta con una transmisividad de $\tau = 0,9$, para la simulación computacional se le aplica un valor de emisividad $\varepsilon = 0.9$; este supuesto se usa de forma de que la emisividad considere la absorptividad y transmisividad que hay en el vidrio, siendo $\alpha + \tau = 0.9$.

En cuanto a la geometría del hogar de combustión, como se realizará un nuevo prototipo de estufa, se crea una estructura para incluir los medios porosos, la cual contempla una subdivisión de 9 caras en las paredes laterales y en la pared trasera, de tal manera de ir ubicando los MPI en las posiciones más favorables.

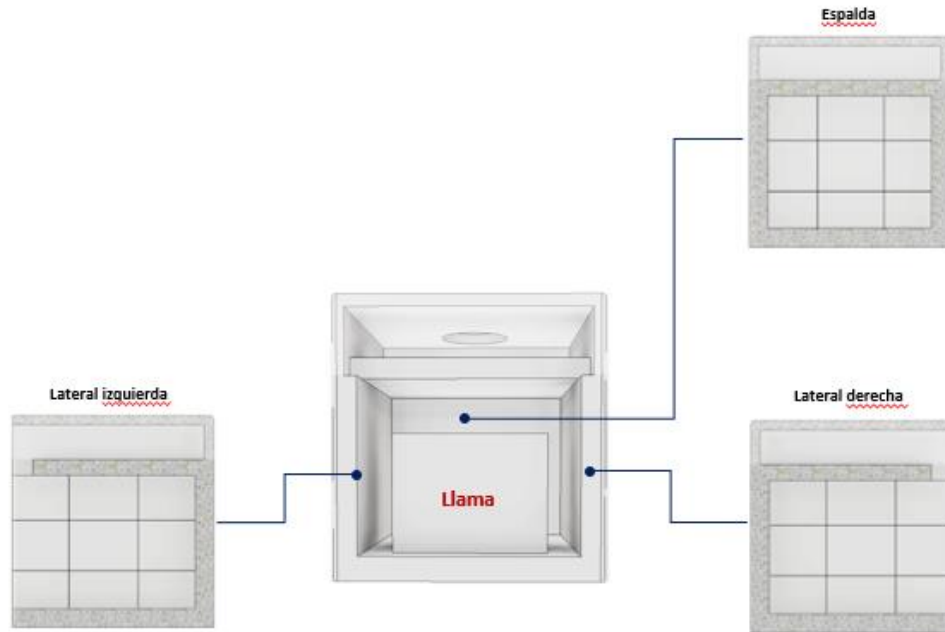


Figura 3.8 Subdivisiones para la inclusión de MPI en el hogar de combustión.

Cada subdivisión en las caras laterales tiene una dimensión de 12,7 por 10,3 cm y en la cara trasera tienen una dimensión de 12 por 10,3 cm.

Además, como se ha visto en las imágenes anteriores, el cuerpo de llama se aproxima a un cuerpo rectangular con volumen, para así simplificar los cálculos y aprovechar la simetría y geometría del modelo. El cuerpo de llama tiene un alto de 20,6 cm; profundidad de 29,1 cm y ancho de 27 cm.

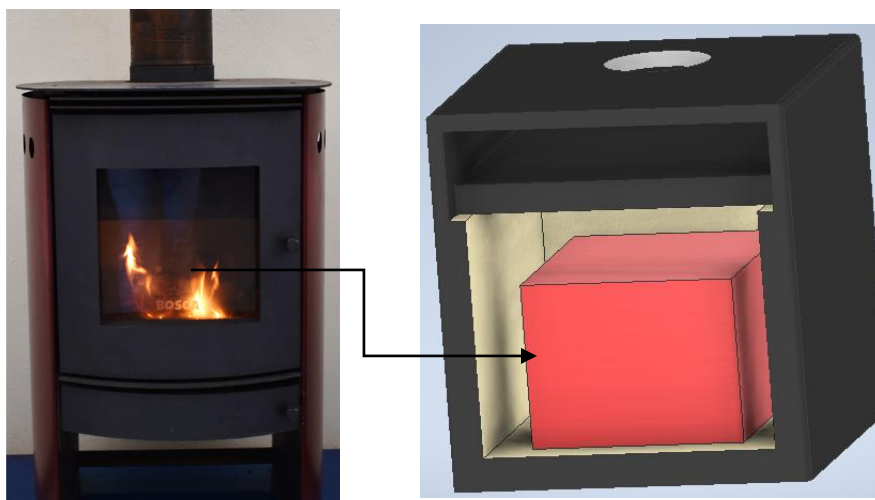


Figura 3.9 Aproximación cuerpo de llama.

A su vez, la salida de los gases a la cámara superior ocurre en la parte delantera del templador, el cual contiene un espacio con 4,5 cm de profundidad.

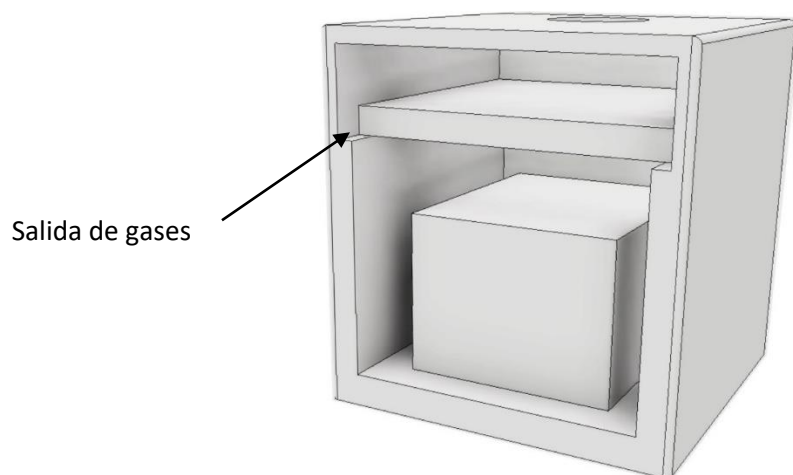


Figura 3.10 Salida de gases en la cámara de combustión.

3.2.1. Cálculo de factores de forma

Debido a la limitación de los algoritmos para los cálculos de los factores de forma, para los obtener resultados de la geometría deseada mostrada en la Figura 3.8, se consideran 74 áreas de transferencia de calor, las cuales se muestran a continuación:

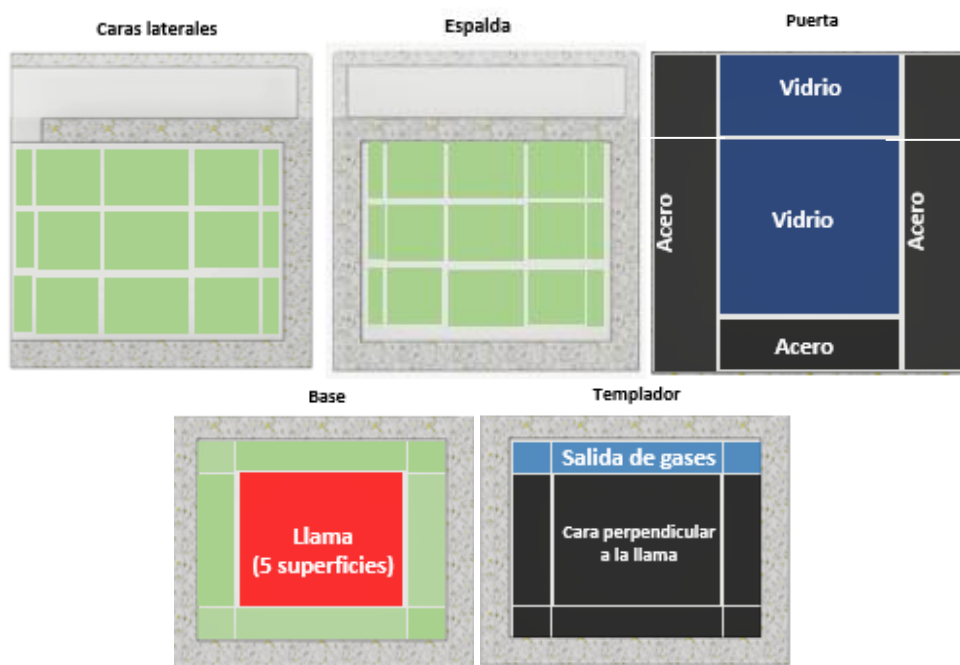


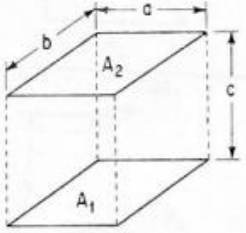
Figura 3.11 Áreas de transferencia de calor en el hogar de combustión.

A su vez, debido a las múltiples subdivisiones dentro del hogar de combustión, para obtener la temperatura de un conjunto de superficies en particular, al contener caras de distintos tamaños, se calcula un promedio ponderado por el área de estas:

$$T = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \cdot T_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (39)$$

Finalmente, dado las geometrías cuadradas y rectangulares de las superficies, los algoritmos para el cálculo de factores de forma son:

9

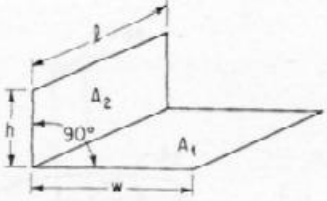


Identical, parallel, directly opposed rectangles.

$$X = \frac{a}{c} \quad Y = \frac{b}{c}$$

$$F_{1-2} = \frac{2}{\pi XY} \left\{ \ln \left[\frac{(1+X^2)(1+Y^2)}{1+X^2+Y^2} \right]^{\frac{1}{2}} + X\sqrt{1+Y^2} \tan^{-1} \frac{X}{\sqrt{1+Y^2}} \right. \\ \left. + Y\sqrt{1+X^2} \tan^{-1} \frac{Y}{\sqrt{1+X^2}} - X \tan^{-1} X - Y \tan^{-1} Y \right\}$$

12



Two finite rectangles of same length, having one common edge, and at an angle of 90° to each other.

$$H = \frac{h}{l} \quad W = \frac{w}{l}$$

$$F_{1-2} = \frac{1}{\pi W} \left(W \tan^{-1} \frac{1}{W} + H \tan^{-1} \frac{1}{H} - \sqrt{H^2 + W^2} \tan^{-1} \frac{1}{\sqrt{H^2 + W^2}} \right. \\ \left. + \frac{1}{4} \ln \left\{ \left[\frac{(1+W^2)(1+H^2)}{(1+W^2+H^2)} \right] \left[\frac{W^2(1+W^2+H^2)}{(1+W^2)(W^2+H^2)} \right]^{W^2} \left[\frac{H^2(1+H^2+W^2)}{(1+H^2)(H^2+W^2)} \right]^{H^2} \right\} \right)$$

Rectangle to rectangle

Case	View factor
From rectangle A_1 at 90° to rectangle A_2 (mind it is singular if $x_1 = \xi_1 = 0$).	$F_{12} = \frac{1}{2\pi A_1} \sum_{l=1}^2 \sum_{k=1}^2 \sum_{j=1}^2 \sum_{i=1}^2 \left[(-1)^{(i+j+k+l)} B(x_i, y_j, \eta_k, \xi_l) \right]$ with $A_1 = (x_2 - x_1)(y_2 - y_1)$ $B = (y - \eta) C \arctan(D) - \frac{C^2}{4} (1 - D^2) \ln[C^2(1 + D^2)]$ $C = \sqrt{x^2 + \xi^2}, \quad D = \frac{(y - \eta)}{C}$ (e.g. for squares touching: $x_1 = \xi_1 = 10^{-6}, x_2 = \xi_2 = 1, y_1 = \eta_1 = 0, y_2 = \eta_2 = 1, F_{12} = 0.20004$)

Rectangle to rectangle

Case	View factor
From rectangle A_1 in parallel plane to rectangle A_2 .	$F_{12} = \frac{1}{2\pi A_1} \sum_{l=1}^2 \sum_{k=1}^2 \sum_{j=1}^2 \sum_{i=1}^2 \left[(-1)^{(i+j+k+l)} B(x_i, y_j, \eta_k, \xi_l) \right]$ with $A_1 = (x_2 - x_1)(y_2 - y_1)$ $B = vp \arctan\left(\frac{v}{p}\right) + uq \arctan\left(\frac{u}{q}\right) - \frac{z^2}{2} \ln(u^2 + v^2 + z^2)$ $u = x - \xi, v = y - \eta, p = \sqrt{u^2 + z^2}, q = \sqrt{v^2 + z^2}$ (e.g. for frontal squares in a cube: $x_1 = \xi_1 = 0, x_2 = \xi_2 = 1, y_1 = \eta_1 = 0, y_2 = \eta_2 = 1, z = 1, F_{12} = 0.1998$)

Figura 3.12 Algoritmos de factores de forma [36] [37].

3.2.2. Composición elemental del combustible

La leña para utilizar como combustible en la estufa es Eucalyptus Globulus, la cual posee la siguiente composición elemental:

Tabla 3.3 Composición elemental Eucalyptus Globulus [38].

x_C	48,6%
x_H	6,2%
x_O	44,79%
x_N	0,16%
x_S	-

3.2.3. Condiciones Iniciales y de borde

Gracias a papers y estudios de simulación numérica, se puede obtener un estimado de temperaturas de llamas dentro de una estufa de calefacción residencial [39], en este caso, la temperatura de la cara delantera es la menor, con un valor de 550 °C, dado que es la que está al frente del vidrio que transmite el calor y no lo refleja; la temperatura de los costados se asume que son los leños y brasas empezándose a combustionar, con una temperatura de 650 °C; la cara trasera tiene mayor temperatura dado la geometría real de la estufa de combustión, donde la inclinación del templador hace que se refleje más el calor e ingrese más aire en esa zona, considerándose así una temperatura de 750 °C; por último, la cara superior del cuerpo de llama es la de más alta temperatura, dado que se asume que es todo el material volátil sobre los leños combustionándose. Además, la emisividad de la llama es de $\varepsilon = 0.95$, dado que proviene de combustible sólido y contiene mucho hollín.

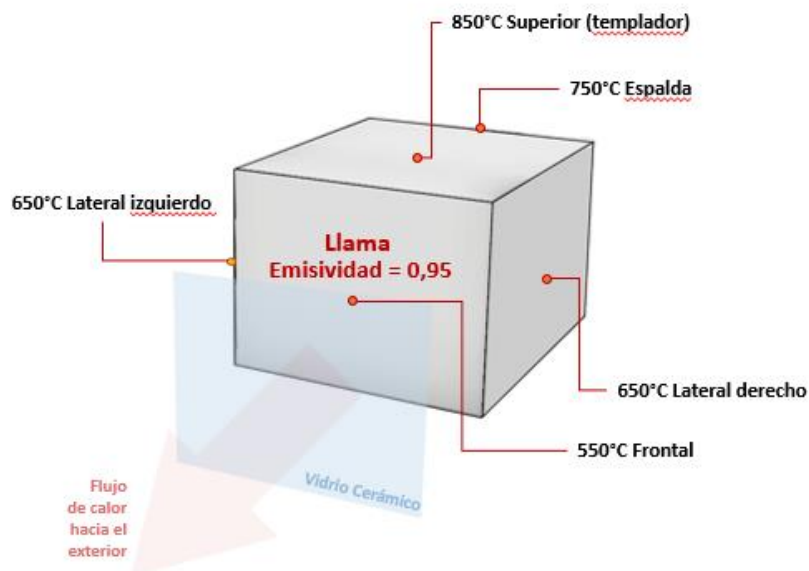


Figura 3.13 Temperatura del cuerpo de llama.

Enseguida, la temperatura ambiental exterior al vidrio cerámico se considera de 40 °C, dado que recibe todo el calor de la llama, las temperaturas exteriores laterales se consideran de 30°C; la temperatura exterior trasera, dado que la temperatura de llama es más caliente en esa zona, se considera de 35 °C; por último, la temperatura sobre el templador se considera de 337 °C, obtenida de “Temperatura humos” de la Tabla 2.3.

Al mismo tiempo, para efectos prácticos de simplificación de cálculos numéricos y debido a que se desconocen estos valores, al interior de la estufa se considera combustión completa con un ingreso de aire estequiométrico, es decir $\lambda = 1$. De igual manera, se considera presión atmosférica en el hogar de combustión, obteniéndose así unas presiones parciales de los gases de combustión con efectos radiativos igual a:

- $P_{CO_2} = 0,17 [bar]$
- $P_{H_2O} = 0,13 [bar]$

Otro supuesto es que se considera la temperatura media del gas como un promedio de todas las superficies que delimitan la cavidad radiante al interior del hogar de combustión [40], vale decir que, con este supuesto, la absorptividad y la emisividad del gas serán iguales.

En paralelo, el coeficiente de convección que se utiliza es un promedio de $h = 15 \frac{W}{m^2 K}$, ya que la convección natural tiene un coeficiente entre valores de 5 y 30 [25].

Por último, para la cavidad donde se encuentra la salida de los gases desde la primera cámara de combustión, se considera como cuerpo negro de $\varepsilon = 1$, dado que absorbe y emite todo el calor recibido.

3.2.4. Inclusión geométrica de los MPI en el hogar de combustión

La forma de incluir los MPI al interior de la estufa es ubicándolos en las caras mostradas en la Figura 3.8, se irán probando múltiples configuraciones para encontrar las más eficientes y recomendables. Con respecto al espacio físico de estos, se le quita 1 cm de espesor de vermiculita a la superficie respectiva y se le reemplaza por un medio poroso de 1 cm de espesor, de tal manera de acercarse más a lo que se pretende hacer en la realidad, que es no afectar el volumen del hogar de combustión y así no afectar la fluidodinámica dentro. Los materiales de medios porosos utilizados en la simulación son descritos en la Tabla 2.4, pero como la conductividad térmica de los MPI en tal tabla no es constante, para la simulación en particular, se utilizan las siguientes:

Tabla 3.4 Propiedades termofísicas de los MPI utilizados en la simulación.

Material MPI	Conductividad térmica $\frac{W}{m K}$	Emisividad
SiC	35	0,9
Al_2O_3	5	0,28
ZrO_2	2	0,31

La imagen de los medios porosos utilizados se ven a continuación, de izquierda a derecha: SiC , ZrO_2 , Al_2O_3 :



Figura 3.14 Imagen de Medios Porosos utilizados.

3.3. Análisis y Resultados

En el modelo radiativo del hogar de combustión de la Bosca Spirit 380 se simularon tres condiciones de operación, las cuales serán presentadas a continuación:

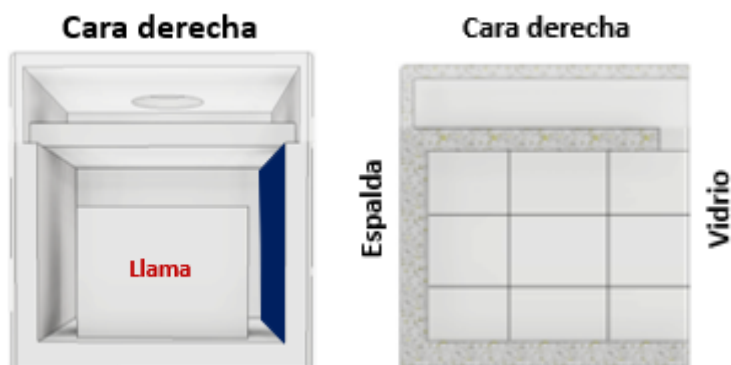
3.3.1. Condición de operación 1

Primero se simula la estufa como condición base, es decir, sin medios porosos al interior. En efecto, se parte por mostrar los resultados obtenidos en base a la geometría de la Figura 3.8.



Temperaturas interiores cara izquierda °C Temperaturas exteriores cara izquierda °C Flujo de calor recibido cara izquierda W

731.7	731.9	708.8	101.2	101.2	99.1	20.6	20.6	19.9
678.6	658.1	650.6	96.3	94.4	93.6	19.0	18.4	18.2
664.8	641.9	636.7	95.0	92.8	92.3	18.6	18.0	17.8



Temperaturas interiores cara derecha °C Temperaturas exteriores cara derecha °C Flujo de calor recibido cara derecha W

731.7	731.9	708.8	101.2	101.2	99.1	20.6	20.6	19.9
678.6	658.1	650.6	96.3	94.4	93.6	19.0	18.4	18.2
664.8	641.9	636.7	95.0	92.8	92.3	18.6	18.0	17.8

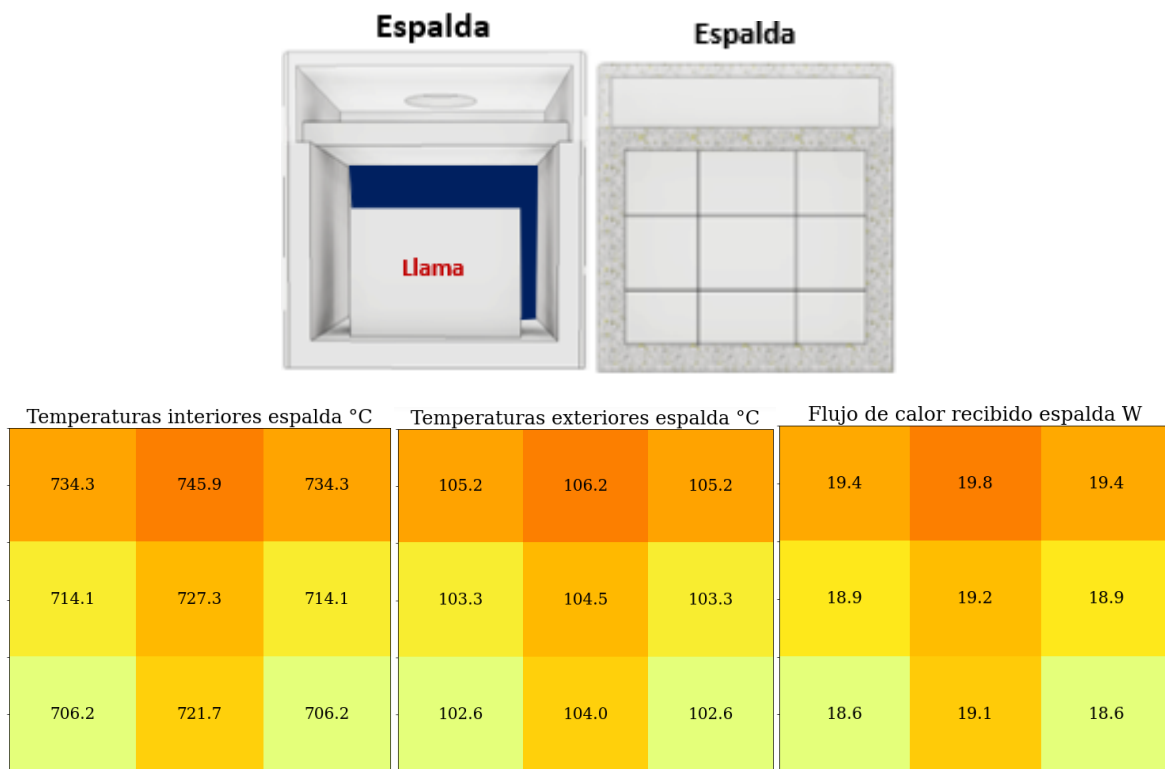


Figura 3.15 Resultados Estufa Condición Base.

Además, se muestran los resultados generales

Tabla 3.5 Resultados Estufa Condición Base.

ε, α del gas	0.11
τ del gas	0.89
Temperatura del gas	685 [°C]
Temperatura interior promedio caras laterales	678 [°C]
Temperatura exterior promedio caras laterales	96 [°C]
Flujo de calor total recibido en caras laterales	171 [W]
Temperatura interior promedio cara trasera	723 [°C]
Temperatura exterior promedio cara trasera	104 [°C]
Flujo de calor total recibido en cara trasera	172 [W]
Temperatura promedio del templador	760 [°C]
Temperatura exterior del vidrio	458 [°C]
Flujo de calor total recibido por el vidrio	1450 [W]
Flujo de calor total recibido en todas las superficies	2338 [W]

Se aprecia que los gases de combustión son más un transmisor de calor que una fuente más de energía en sí, esto dada su baja emisividad y alta transmisividad. A su vez, la mayoría del calor producido por la fuente de radiación incidente, en este caso la llama, se dirige hacia el vidrio, lo

que influye positivamente en la eficiencia del artefacto de combustión. Igualmente, vale decir que el flujo de calor que recibe cada superficie es el mismo que libera dicha superficie hacia el exterior, esto dado que, como se dijo anteriormente, es un sistema ideal y estacionario. Por otra parte, la temperatura de las caras laterales (derecha e izquierda) son similares, esto dada la geometría y simetría del modelo. Por último, de la Figura 3.15, se aprecia que en las paredes laterales se observa una temperatura decreciente desde la espalda hacia al vidrio, lo que es coherente dado la distribución considerada de la temperatura en el cuerpo de llama.

3.3.2. Condición de operación 2

En esta fase se incluye medios porosos, pero solo se evalúa el efecto del cambio del material sobre la transferencia de calor por radiación al interior del hogar de combustión y su impacto sobre las temperaturas de las caras exteriores del calefactor, es decir, no se considera combustión en los MPI. Esta evaluación se hace para comprobar si en los medios porosos se alcanza la temperatura de combustión de CO, explicado en el inciso 3.2.3. A su vez, se puede determinar que MPI es más eficiente para simular con reacción de combustión en su interior.

La ubicación de los MPI para esta simulación se muestra a continuación:

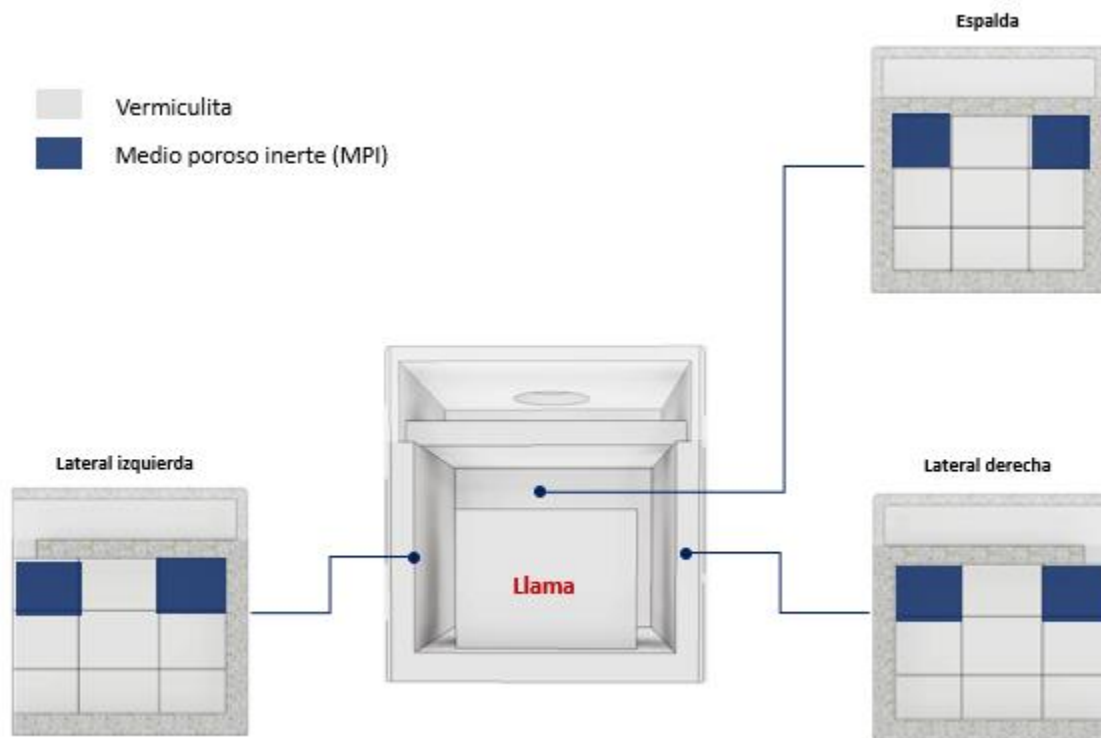


Figura 3.16 Configuración 1, ubicación de MPI.

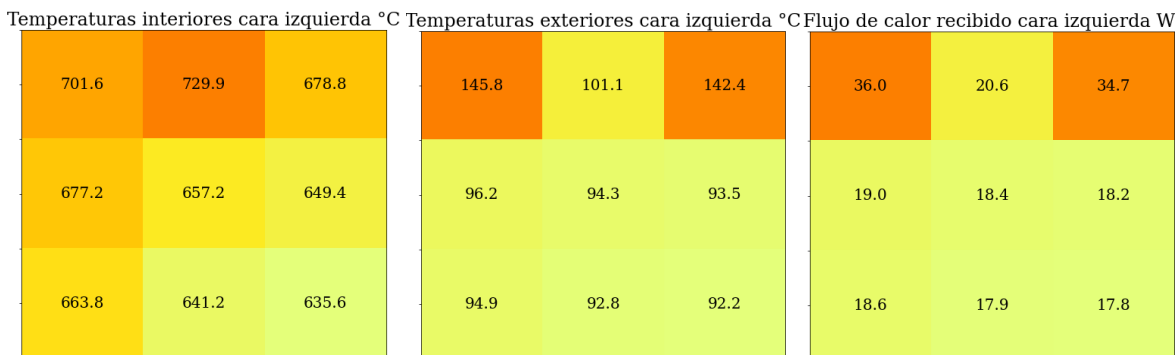
Premilitarmente, se define colocar los medios porosos en estas ubicaciones, en los costados de cada pared, para comparar cómo se comportan las temperaturas de estos en comparación a la vermiculita que está al centro.

Utilizando medios porosos de ZrO_2 se obtienen los siguientes resultados:



Figura 3.17 Resultados para Configuración 1, MPI Zirconio sin combustión.

Utilizando medios porosos de Al_2O_3 se obtienen los siguientes resultados:



Temperaturas interiores espalda °C			Temperaturas exteriores espalda °C			Flujo de calor recibido espalda W		
704.6	744.0	704.6	149.3	106.1	149.3	34.0	19.7	34.0
712.9	726.5	712.9	103.2	104.5	103.2	18.8	19.2	18.8
705.3	721.0	705.3	102.5	104.0	102.5	18.6	19.1	18.6

Figura 3.18 Resultados para Configuración 1, MPI Alúmina sin combustión.

Utilizando medios porosos de SiC se obtienen los siguientes resultados:

Temperaturas interiores cara izquierda °C			Temperaturas exteriores cara izquierda °C			Flujo de calor recibido cara izquierda W		
732.1	730.4	710.6	151.0	101.1	147.9	37.9	20.6	36.7
677.8	657.7	650.0	96.2	94.3	93.6	19.0	18.4	18.2
664.4	641.7	636.3	94.9	92.8	92.3	18.6	17.9	17.8

Temperaturas interiores espalda °C			Temperaturas exteriores espalda °C			Flujo de calor recibido espalda W		
734.8	744.4	734.8	154.4	106.1	154.4	35.8	19.7	35.8
713.4	726.9	713.4	103.3	104.5	103.3	18.8	19.2	18.8
705.8	721.4	705.8	102.6	104.0	102.6	18.6	19.1	18.6

Figura 3.19 Resultados para Configuración 1, MPI Carburo de Silicio sin combustión.

Vale decir que, dada la simetría del modelo y la ubicación de los medios porosos, los resultados de la cara izquierda y la cara derecha son iguales. A su vez, de los resultados obtenidos se puede apreciar que los valores para medios porosos de Alúmina y Zirconio son similares, dado sus propiedades similares en cuanto a emisividad y conductividad térmica. Además, se observa que las temperaturas exteriores donde van las superficies de medios porosos aumentaron, esto es debido

a que al quitar 1 cm de espesor de aislante y que se reemplaza por un MPI con una conductividad térmica mucho mayor, disminuye considerablemente la resistencia térmica, dando paso así a liberar un mayor flujo de calor en la respectiva superficie.

En cuanto a los resultados en sí, se ve que todos los MPI cumplen con la condición para que haya una supuesta combustión de CO en ellos, es decir, tienen temperaturas mayores a 605 [°C]. También, si se hace una comparación con los resultados obtenidos con la inclusión de MPI sin combustión en ellos y la condición base, se observa que para los MPI de Alúmina y Dióxido de Zirconio las temperaturas disminuyeron, esto es debido a su baja emisividad, por ende, a su baja absorptividad, por lo que absorbe menos la radiación incidente de la llama, a su vez, al tener una menor resistencia térmica en comparación a la vermiculita, el calor se “escapa” más fácil. No obstante, para el MPI de Carburo de Silicio, las temperaturas aumentan en comparación a la condición base, también se observa que la temperatura de los MPI se acerca más a la de la vermiculita que está entre medio de estos; esto se debe a la gran absorptividad y emisividad que posee el SiC, absorbiendo más el calor recibido de la llama; además, al tener una gran emisividad, entrega más calor por radiación al resto de las caras, resultando ser más eficiente que los otros materiales de MPI.

En consecuencia, dado la ventaja del material, para simular la inclusión de medios porosos inertes en el hogar de combustión con reacción dentro de ellos, se usará Carburo de Silicio.

3.3.3. Condición de operación 3

En esta fase la modelación del medio poroso considera el caso que ocurre postcombustión de la fracción de monóxido de carbono (CO) presente en los gases producto en el hogar. De esta forma, los gases al filtrar u entrar en contacto con los poros del MPI a alta temperatura, se espera que ocurra la postcombustión de productos intermedios, en particular CO. Como se dijo en el inciso anterior, los MPI utilizados serán de SiC dada las mayores temperaturas que entrega.

De este modo, se ubican tres MPI por pared y se prueban varias ubicaciones dentro del hogar de combustión. Las configuraciones utilizadas se pueden ver a continuación.

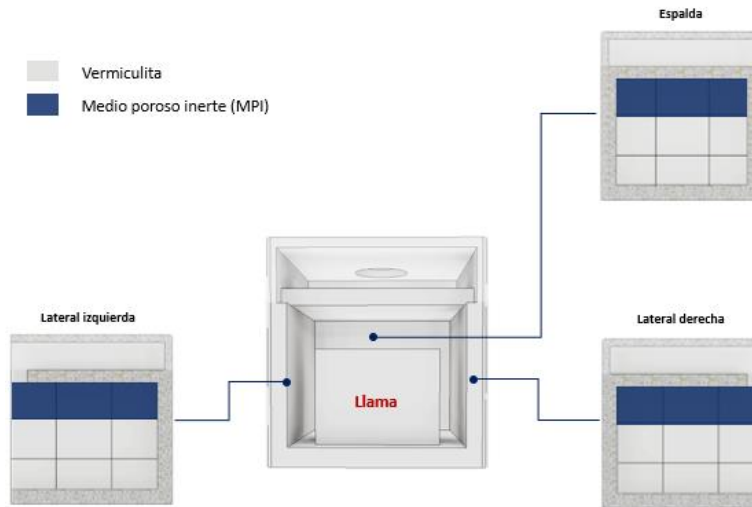


Figura 3.20 Configuración 2, ubicación de MPI con combustión.

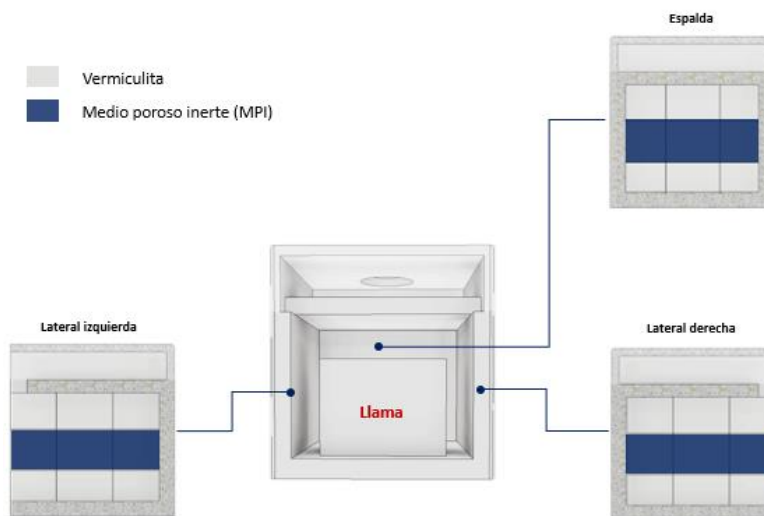


Figura 3.21 Configuración 3, ubicación de MPI con combustión.

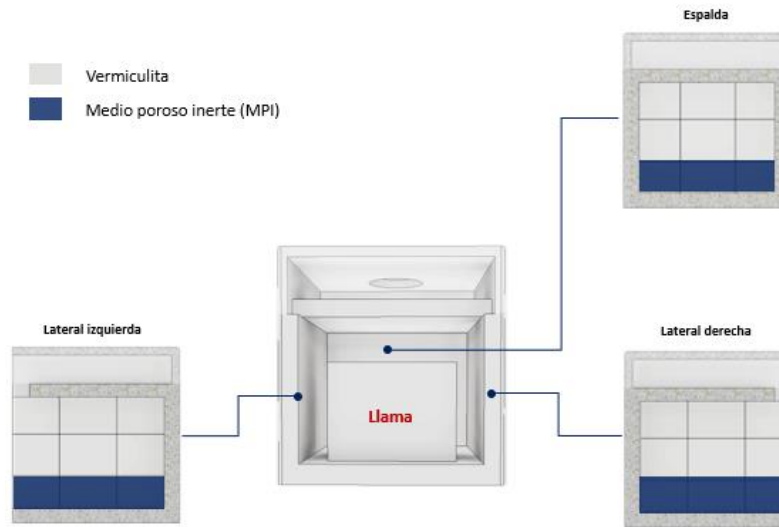


Figura 3.22 Configuración 4, ubicación de MPI con combustión.

A continuación, se muestran los resultados generales obtenidos para cada configuración:

Tabla 3.6 Comparación de resultados incluyendo MPI con combustión en ellos en distintas ubicaciones.

Propiedad	Configuración 2	Configuración 3	Configuración 4
ε, α del gas	0.11	0.11	0.11
τ del gas	0.89	0.89	0.89
T° gas [°C]	725	720	718
T° interior promedio caras laterales [°C]	752	752	748
T° exterior promedio caras laterales [°C]	123	122	121
Flujo de calor total recibido en caras laterales [W]	257	253	250
T° interior promedio cara trasera [°C]	795	795	792
T° exterior promedio cara trasera [°C]	130	130	130
Flujo de calor total recibido en cara trasera [W]	254	253	251
T° promedio del templador [°C]	819	787	772
T° exterior del vidrio [°C]	488	473	469
Flujo de calor total recibido por el vidrio [W]	1674	1555	1520
Flujo de calor total recibido en todas las superficies [W]	2906	2653	2600

De los resultados obtenidos, se aprecia que todas las configuraciones tienen temperatura promedio similares en sus paredes laterales y trasera, esto es debido a que se considera el mismo valor de calor generado por combustión en todas las superficies de MPI, independiente de la ubicación, lo que en la realidad no es así, dado que influye la cantidad de CO y Metano más el aire presente en la zona. En contraparte, la temperatura del templador es más alta en la configuración 2, lo que puede significar una segunda combustión más eficiente, a su vez, el calor que llega al vidrio es considerablemente más alto, lo que implicaría un aumento de la eficiencia térmica de la estufa. Esto ocurre ya que, al ubicarse los MPI en las zonas superiores de cada pared, emiten más calor por radiación al resto de superficies dado que no se encuentra la llama entre medio, además, en la realidad, los flujos de aire dentro del hogar de combustión se dirigen hacia la parte trasera y las zonas superiores, lo que aumenta la posibilidad de que haya combustión al interior de los MPI en estas ubicaciones. Por estas razones, la mejor ubicación de los MPI es la mostrada en la Configuración 2.

A continuación, se muestran las temperaturas específicas que obtienen los MPI en la configuración más eficiente.

Temperaturas interiores cara izquierda °C			Temperaturas exteriores cara izquierda °C			Flujo de calor recibido cara izquierda W		
907.6	909.0	886.7	176.8	177.0	173.9	48.1	48.2	46.9
708.3	676.9	676.7	99.2	96.2	96.2	20.0	19.0	19.0
685.4	655.2	657.8	97.0	94.1	94.4	19.3	18.4	18.5
Temperaturas interiores espalda °C			Temperaturas exteriores espalda °C			Flujo de calor recibido espalda W		
910.1	922.4	910.1	179.9	181.6	179.9	45.4	46.1	45.4
741.9	743.7	741.9	106.0	106.1	106.0	19.7	19.7	19.7
725.2	733.1	725.2	104.4	105.1	104.4	19.2	19.4	19.2

Figura 3.23 Resultados para Configuración 2, MPI Carburo de Silicio con combustión.

De nuevo, dada la simetría del modelo, las temperaturas de la cara izquierda y cara derecha son iguales. Con respecto a los resultados en sí, se nota un notable aumento de temperaturas interiores donde van ubicados los MPI, lo que es lógico dado la supuesta combustión que ocurre en ellos, por la misma razón, aumenta el calor en dichas superficies. En cuanto a las temperaturas exteriores, se ve un notable aumento para las zonas donde están los MPI, esto dado el aumento de calor provocado por la combustión dentro de ellos, sin embargo, la temperatura del resto de

superficies casi no varía en comparación a los resultados de la condición base mostrados en la Figura 3.15, la razón de esto es que, como se explicó en las consideraciones del modelo, solo se considera transferencia de calor por conducción en dirección transversal a las paredes, lo que implica que no hay conducción en los demás sentidos, es decir, entre las mismas superficies.

3.3.4. Resultados y comparación con y sin MPI incluidos en el hogar de combustión

De lo anteriormente expuesto, se realiza una comparativa de los resultados térmicos entre la estufa sin inclusión de medios porosos (configuración base) y la estufa con la inclusión de medios porosos en las ubicación más favorable (configuración 2).

Tabla 3.7 Resultados estufa con y sin medios porosos.

Propiedad	Condición base	Configuración 2
ε, α del gas	0.11	0.11
τ del gas	0.89	0.89
T° gas [°C]	685	725
T° interior promedio caras laterales [°C]	678	752
T° exterior promedio caras laterales [°C]	96	123
Flujo de calor total recibido en caras laterales [W]	171	257
T° interior promedio cara trasera [°C]	723	795
T° exterior promedio cara trasera [°C]	104	130
Flujo de calor total recibido en cara trasera [W]	172	254
T° promedio del templador [°C]	760	819
T° exterior del vidrio [°C]	458	488
Flujo de calor total recibido por el vidrio [W]	1450	1674
Flujo de calor total recibido en todas las superficies [W]	2338	2906

De los resultados obtenidos, al incluir medios porosos inertes, se puede concluir lo siguiente:

- La inclusión de MPI provoca un notable aumento de la temperatura del gas, lo que puede significar una combustión más completa.

- Al agregar medios porosos y haber combustión en ellos, se agrega una nueva fuente de energía, por lo que se puede suponer que la potencia nominal de la estufa aumenta.
- La temperatura del templador aumenta, lo que implicaría una segunda combustión dentro del hogar más eficiente.
- Con la inclusión de MPI, el vidrio recibe 224 [W] más de calor, a su vez, el calor liberado por todas las superficies aumenta en 568 [W], por lo que se deduce un aumento considerable de la eficiencia térmica del artefacto de combustión.
- Todas las temperaturas interiores del hogar aumentaron, lo que permitiría una combustión más eficiente del combustible.

3.4. Validación con resultados experimentales

A continuación, se contrastan los resultados obtenidos de la simulación computacional y los resultados obtenidos de ensayos experimentales. Vale decir que, debido a las consideraciones del modelo radiativo y que solo se simula lo ocurrido debajo del templador, más las ubicaciones de las termocupas en los procesos experimentales; solamente se puede comparar las temperaturas de las caras laterales y trasera.

En cuanto a los ensayos experimentales, estos se realizaron en un intervalo de tiempo, por lo que se muestra el rango de temperaturas que se obtuvo. En contraparte, las temperaturas de la simulación computacional son constantes, debido a que es un modelo estacionario.

Las posiciones de las termocupas del ensayo de Fernanda Inostroza se ven a continuación, sin embargo, Felipe Muñoz no las ilustró. A su vez, Inostroza realizó ensayos a usando mínima admisión de aire, en contraparte, Muñoz utilizó mínima y máxima admisión.

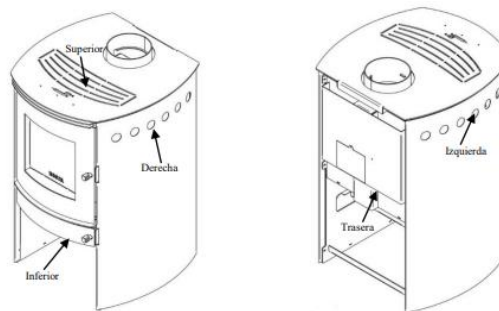


Figura 3.24 Posiciones termocupas, ensayo Fernanda Inostroza [28].

Tabla 3.8 Comparación con resultados experimentales. Condición base [28] [5].

Datos de comparación	Simulación Condición base	Fernanda Inostroza Condición base Mínima admisión de aire (4 horas)	Felipe Muñoz Condición base Mínima admisión de aire (3,5 horas)	Felipe Muñoz Condición base Máxima admisión de aire (1,5 horas)
Temperatura exterior cara izquierda [°C]	96	65 - 105	77 - 193	115 - 281
Temperatura exterior cara derecha [°C]	96	60 - 72	81 - 180	126 - 256
Temperatura exterior cara trasera [°C]	104	105 - 155	129 - 273	189 - 364

En cuanto a la inclusión de medios porosos en el hogar de combustión, las ubicaciones utilizadas en los ensayos experimentales son las siguientes:



Figura 3.25 Ubicación de MPI en ensayos experimentales, izquierda: Fernanda Inostroza; derecha: Felipe Muñoz [28] [5].

Vale decir que, el resto de las ubicaciones de MPI que utilizó Felipe Muñoz no se pueden simular en este modelo, ya que uso una con un medio poroso sobre el templador y otra con el medio poroso en la base del cuerpo de llama.

Con respecto a la Figura 3.25, la mejor simulación para comparar y contrastar resultados es la Configuración 4, mostrada en la Figura 3.22, dado que son las ubicaciones de MPI más similares a las que se utilizó en los ensayos experimentales.

Tabla 3.9 Comparación con resultados experimentales. Inclusión de medios porosos [28] [5].

Datos de comparación	Simulación Inclusión MPI Configuración 4	Fernanda Inostroza Inclusión MPI Mínima admisión de aire (4 horas)	Felipe Muñoz Inclusión MPI Mínima admisión de aire (3 horas)	Felipe Muñoz Inclusión MPI Máxima admisión de aire (1 horas)
Temperatura exterior cara izquierda [°C]	121 (promedio) 165 (donde se ubican los MPI)	60 – 65	64 - 153	138 - 290
Temperatura exterior cara derecha [°C]	121 (promedio) 165 (donde se ubican los MPI)	60 - 75	63 - 146	122 - 227
Temperatura exterior cara trasera [°C]	130 (promedio) 177 (donde se ubican los MPI)	110 - 170	123 - 275	220 - 375

De las evidencias anteriores, al contrastar los resultados obtenidos de la simulación numérica respecto a resultados experimentales previos, para el caso de la estufa sin medios porosos, es decir, condición base, mostrado en la Tabla 3.8, los resultados de la simulación son cualitativamente correctos, ya que presentan un comportamiento similar a los ensayos experimentales, sobre todo al evidenciarse un aumento de temperatura en la cara trasera con respecto a las laterales.

En cuanto a la inclusión de medios porosos, resultados mostrados en la Tabla 3.9, como en la simulación computacional se considera calor por conducción solo transversal en las paredes y no en el sentido entre la misma superficie, se coloca la temperatura exterior promedio de cada pared y la temperatura exterior a la ubicación del MPI, con la intención de revelar resultados más fidedignos. Respecto a la comparación con los resultados experimentales, siguen siendo cualitativamente correctos ya que se nota un aumento de temperatura de la cara trasera con respecto a las caras laterales, igual que en la condición base. Sin embargo, de la simulación se observa que aumentan todas las temperaturas al incluir los MPI, siendo que en los ensayos previos solo aumentó la temperatura de la cara trasera en los ensayos de Fernanda Inostroza; esto dado que en la realidad no se sabe a ciencia cierta en cuales MPI hubo reacción de combustión, y en caso de no haberla, el MPI funciona como un aislante más. Aun así, los resultados siguen siendo válidos ya que están dentro de los rangos obtenidos experimentalmente con un comportamiento cualitativo correcto.

Para validar aún más los resultados, se realiza una comparación entre el calor total liberado de las superficies obtenido de la simulación numérica y el calor idealmente entregado por el combustible obtenido de resultados experimentales. En este mismo contexto, gracias al trabajo de título de Felipe Muñoz, se sabe que la tasa de quemado de leña para la estufa en condición base es de $TS_Q = 1.01 \left[\frac{kg}{hr} \right]$ [5]. Aunado a esto, el poder calorífico inferior de la leña Eucalyptus Globulus se puede ver en la Tabla 2.1. Por consiguiente, el flujo de calor total idealmente entregado por el combustible se calcula mediante:

$$\dot{Q} = TS_q \cdot PCI_{leña} \text{ [W]} \quad (40)$$

A continuación, se puede observar la tabla comparativa:

Tabla 3.10 Calor entregado por las superficies vs calor entregado por el combustible

Dato de comparación	Simulación condición base	Simulación configuración 2	Simulación configuración 3	Simulación configuración 4	Calor idealmente entregado
Calor total entregado [W]	2338	2906	2653	2600	4296

A partir de esto, se observa que todos los valores están en el mismo orden de magnitud, además, el cálculo del flujo de calor entregado por el combustible da un resultado para condiciones muy ideales, lo que no ocurre en la realidad, dado que la combustión de combustibles sólidos no es muy eficiente. Por estas razones los resultados entregados por la simulación numérica se acercan a la realidad y se definen como válidos.

En consecuencia, pese a los supuestos y simplificaciones del modelo radiativo, este predice correctamente las temperaturas de las caras externas e internas de la cámara de combustión del calefactor residencial, en función del tipo y configuración de materiales (vermiculita / MPI) al interior del hogar de combustión.

4. Conclusiones

Para concluir, se afirma que la simulación numérica del comportamiento térmico al interior del hogar de combustión de la estufa predice los resultados correctamente, dado que se compararon y validaron con resultados experimentales, entregando resultados satisfactorios.

Con respecto a los resultados obtenidos de la simulación, se modeló un hogar de combustión de la estufa sin y con medios porosos, estos últimos, se simularon en diferentes ubicaciones, siendo la más ventajosa la Configuración 2, dado que se obtuvieron las temperaturas y flujos de calor más altos. Es por esto que, la mejor ubicación para poner los medios porosos es en la parte superior de cada pared.

En tal sentido, el programa evidenció las ventajas más importantes de incluir medios porosos en una estufa, tales como un notable aumento de la temperatura del gas, lo que puede significar una combustión más completa; a su vez, aumenta la temperatura del templador, lo que implicaría una segunda zona de combustión más eficiente; además, todas las temperaturas interiores del hogar aumentaron, lo que provocaría un ingreso de aire precalentado con mayor temperatura y una quema más eficiente del combustible de leña ; igualmente, al incluir medios porosos inertes y haber combustión en ellos, se agrega una nueva fuente de energía, suponiendo un aumento de la potencia nominal del artefacto de combustión; por último, el vidrio recibe un notable aumento de flujo de calor que recibe, de igual forma, se libera mucho más calor de todas las superficies al ambiente, deduciendo así un notable aumento de la eficiencia térmica de la estufa.

En cuanto a la validación del contraste con los ensayos experimentales, se observa que los resultados obtenidos predicen temperaturas cualitativamente correctas, sin embargo, se obtienen leves diferencias con respecto a los resultados reales debido a las consideraciones y simplificaciones utilizadas en el modelo. No obstante, el programa predice un comportamiento de temperaturas correctos tanto en las paredes interiores y exteriores del hogar de combustión, así como los flujos de calor que recibe cada una.

Por otra parte, debido al funcionamiento de la estufa Bosca Spirit 380, es más conveniente ubicar los medios porosos en la cara trasera al interior del hogar de combustión, dado que se encuentran las temperaturas más altas y se dirige la mayor cantidad de flujo de aire en esa zona.

Para finalizar, de estudios anteriores realizados por USM y BOSCA sobre cerámicas porosas dentro de la cámara de combustión de una estufa, se obtuvo una considerable reducción de los factores de emisión de material particulado y mayores temperaturas de los gases de escape y de la superficie externa. La razón principal podría atribuirse a los mecanismos mejorados de transferencia de calor y masa dentro de la cámara de combustión debido a la cerámica porosa. Está claro que el uso de espumas cerámicas en sistemas de combustión de madera residencial es una aplicación innovadora para disminuir las emisiones de material particulado y aumentar la eficiencia y potencia nominal de los artefactos, a su vez, estudios y simulaciones como la realizada recientemente pueden ayudar a comprender más el fenómeno. Sin embargo, aún se requieren más investigaciones para determinar los mecanismos térmicos y químicos particulares que abarcan la influencia observada de las espumas cerámicas en los factores de emisión de MP, aumento de eficiencia y potencia nominal.

5. Propuestas a futuro

Para ensayos experimentales se propone lo siguiente:

- En cada subdivisión donde irán los MPI, Incluir termocuplas y medir el flujo de aire que le llega a cada una. De esta forma, se puede predecir en que ubicación es más probable que haya combustión al incluir medios porosos.
- Medir la temperatura de los gases en distintas zonas del interior del hogar de combustión.
- Medir el flujo de aire que ingresa más la presión al interior de la cámara de combustión para diferentes condiciones de operación.
- Estimar y medir distintos tamaños del cuerpo de llama para diferentes condiciones de operación, así como medir el perfil de temperatura de esta.
- Medir la temperatura en el vidrio, para estimar cuanto calor libera con o sin medios porosos incluidos.
- Medir la temperatura ambiente al exterior de cada superficie del hogar de combustión.

Para futuras mejoras al presente código o nuevas simulaciones se propone lo siguiente:

- Considerar fluidodinámica del gas, la llama y el ingreso de aire al interior del hogar de combustión.
- Considerar como afecta la combustión en un medio poroso a la temperatura de la llama.
- Considerar temperatura del gas que varía respecto a la posición al interior del hogar de combustión
- No considerar un tamaño de cuerpo de llama constante, al igual que su temperatura. Realizar un modelo transiente.
- Añadir transferencia de calor por conducción y convección al interior del hogar de combustión.
- Considerar la precisión de las propiedades de los materiales ya que estos varían con la temperatura.

6. Referencias

- [1] M. Toledo, F. Guerrero y N. Ripoll, Particulate matter emissions reduction from residential Wood stove using inert porous material inside its combustion chamber, 2020.
- [2] «Material Particulado,» *Agencia de protección ambiental, Estados Unidos*, 2021.
- [3] S. E. Manahan y I. Mora, Introducción a la química ambiental, 2007.
- [4] E. Martínez y Y. Díaz, Contaminación Atmosférica, Universidad de Castilla - La Mancha, 2004.
- [5] F. Muñoz, «ANÁLISIS DE EMISIÓN DE MATERIAL PARTICULADO EN EL PROCESO DE COMBUSTIÓN DE LEÑA EN ESTUFA DE CALEFACCIÓN RESIDENCIAL CON EL USO DE ESPONJAS CERÁMICAS,» 2019.
- [6] «Aprende con energía: Leña,» *Educación Chile* , 2010.
- [7] «Anuario estadístico de energía,» *Comisión nacional de energía*, 2019.
- [8] «Balance nacional de energía 2017,» *Ministerio de Energía, Gobierno de Chile* , 2017.
- [9] «Medición del consumo nacional de leña y otros combustibles sólidos derivados de la madera,» *CDT*, 2015.
- [10] «Disponibilidad y potencial energético de la biomasa del bosque nativo para el desarrollo de la dendroenergía del centro-sur de Chile,» Universidad de la Frontera, 2015.
- [11] «Normas chilenas para Calidad de Leña,» *Revista química*, 2011.
- [12] «POLÍTICA DE USO DE LA LEÑA Y SUS DERIVADOS PARA CALEFACCIÓN. Technical Report,» Ministerio de Energía, Gobierno de Chile, 2015 .
- [13] «Material Particulado,» Instituto para la salud Geoambiental, 2020.
- [14] «Reporte del Estado de Medio Ambiente en Chile,» Ministerio de Medio Ambiente (MMA), 2018.
- [15] AirVisual, «World Air Quality Report & City Ranking PM 2.5,» 2018.
- [16] «Norma de Emisión de Material Particulado para los artefactos que combustioneen o puedan combustionar con Leña y derivados de la madera. DS N° 39,» Ministerio de Medio Ambiente (MMA), 2011.
- [17] SEC, Superintendencia de electricidad y combustibles, 2020.
- [18] «Manual de Usuario Calefactores a Leña BOSCA,» BOSCA, 2020.

- [19] «Ficha Técnica Estufa Spirit 380,» BOSCA.
- [20] D. Trimis, Porous burners. Cell Ceram, 2005.
- [21] M. Kamal y A. Mohamed, Combustion in Porous Media. Proc Inst Mech Eng Part A J Power Energy, 2006.
- [22] O. Pickenacker, K. Wawrzinek, D. Trimis y W. Pritzkow, Innovative ceramic materials for porous-medium burners, 1999.
- [23] S. Sobhani, J. Legg, D. F. Bartz, J. Kojima, C. Chang, J. Sullivan y M. Ihme, Experimental investigation of lean premixed pre-vaporized liquid-fuel combustion in porous media burners at elevated pressures up to 20 bar. Combustion and Flame., 2020.
- [24] A. M. Domingo, «Transmisión de Calor,» Universidad Politécnica de Madrid, 2015.
- [25] Y. A. Cengel, Transferencia de calor y masa, Cuarta edición.
- [26] C. Rosales, Mec - 311 Equipo de procesos térmicos, 2020.
- [27] B. Leckner, Spectral and Total Emissivity of Water Vapor and Carbon Dioxide, Combust Flame, 1972.
- [28] F. Inostroza, INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL DEL PROCESO DE COMBUSTIÓN DE LEÑA HÚMEDA EN ESTUFA DE CALEFACCIÓN RESIDENCIAL, 2021.
- [29] Y. A. Cengel, Termodinámica, Séptima edición.
- [30] Monóxido de Carbono, Instituto nacional de seguridad y salud en el trabajo, Gobierno de España, 2018.
- [31] BOSCA, Planos Bosca Spirit 380.
- [32] «Aislantes Térmicos,» Universidad Politécnica de Madrid, 2017.
- [33] «Valores de emisividad para metales,» Fluke process instruments.
- [34] «Aislante Reflectante, Barreras Radiantes Y Capas de Control De Radiación,» Reflective Insulation Manufacturers Association International, 2002.
- [35] «Glass Ceramic Panels,» SCHOTT AG.
- [36] McGraw-Hill, «Howell, J.R., A catalog of radiation configuration factors,» 1982.
- [37] T. & Francis, «Siegel, R., Howell, J.R., Thermal Radiation Heat Transfer,» 2002.
- [38] Calvo y e. al, «Characterization of operating conditions of two residential woodcombustion appliances,» 2014.

[39] Koralemye et al., «Wood stove combustion modeling and simulation: Technical review and recommendations,» 2021.

[40] R. Scharler, «Transient CFD simulation of wood log combustion in stoves,» 2020.

7. Anexos

```
#!/usr/bin/env python
# coding: utf-8
```

```
# In[1]:
```

```
import numpy as np
from math import pi, log, atan
import warnings
warnings.simplefilter('error', RuntimeWarning)
import matplotlib.pyplot as plt
get_ipython().run_line_magic('matplotlib', 'inline')
from matplotlib import rcParams
rcParams['font.family'] = 'serif'
rcParams['font.size'] = 20
```

```
# In[2]:
```

#0 llama lateral izquierda	#25 frontal derecha sub
#50 derecha 2.2	
#1 llama frontal	#26 frontal derecha up
#51 derecha 2.3	
#2 llama lateral derecha	#27 vidrio sub
#52 derecha 2.4	
#3 llama espalda	#28 vidrio up
#53 derecha 2.5	
#4 llama cara superior	#29 izquierda 1.1
#54 derecha 3.1	
#5 salida Tem esquina izquierda frontal	#30 izquierda 1.2
#55 derecha 3.2	
#6 salida Tem frontal centro	#31 izquierda 1.3
#56 derecha 3.3	
#7 salida Tem esquina derecha frontal	#32 izquierda 1.4
#57 derecha 3.4	
#8 templador derecha centro	#33 izquierda 1.5
#58 derecha 3.5	
#9 templador esquina derecha espalda	#34 izquierda 2.1
#59 espalda 1.1	
#10 templador espalda centro	#35 izquierda 2.2
#60 espalda 1.2	
#11 templador esquina izquierda espalda	#36 izquierda 2.3
#61 espalda 1.3	
#12 templador izquierda centro	#37 izquierda 2.4
#62 espalda 1.4	
#13 templador parte central	#38 izquierda 2.5
#63 espalda 1.5	
#14 base esquina izquierda frontal	#39 izquierda 3.1
#64 espalda 2.1	
#15 base frontal centro	#40 izquierda 3.2
#65 espalda 2.2	

```

#16 base esquina derecha frontal
#66 espalda 2.3
#17 base derecha centro
#67 espalda 2.4
#18 base esquina derecha espalda
#68 espalda 2.5
#19 base espalda centro
#69 espalda 3.1
#20 base esquina izquierda espalda
#70 espalda 3.2
#21 base izquierda centro
#71 espalda 3.3
#22 frontal izquierda sub
#72 espalda 3.4
#23 frontal izquierda up
#73 espalda 3.5
#24 frontal centro sub

#41 izquierda 3.3
#42 izquierda 3.4
#43 izquierda 3.5
#44 derecha 1.1
#45 derecha 1.2
#46 derecha 1.3
#47 derecha 1.4
#48 derecha 1.5
#49 derecha 2.1

#T0= 700+ 273
#T00=700+273
Tgas= 500+273 #kelvin
sigma=5.67*(10**-8)
Tinf = 30+273
Ti=np.ones(74)*Tinf #incognitas solo se conoce la llama

Ti[1]=550+273
Ti[0]=Ti[2]=650+273
Ti[3]=750+273
Ti[4]=850+273

Ti[5:8]=Tgas
hext= 15 #w/m2 K

rel= 0.01 #relajación

Tinfinito= np.ones(74) *Tinf
Tinfinito[8:14]= 337+273
Tinfinito[59:74]=35+273
Tinfinito[27:29]=40+273

#INTERIOR

#emisividades
emi=np.zeros(74)
emi[0:5]=0.95 #llama
emi[5:8]=1 #salida gases delante templador
emi[8:14]=0.8 #templador
emi[14:22]=emi[29:74]=0.4 #base costados y espalda
emi[27:29]= 0.9 #vidrio
emi[22:27]= 0.8 #frontal acero

#conductividades
ki= np.zeros(74)
ki[0:8]=1 #se les asigna un valor para evitar errores en convergencia,
no se necesita

```

```

ki[8:14]=45 #w/mk    #Templador,
ki[14:22]=ki[29:74]=0.05 #vermiculita
ki[27:29]= 1.6 #vidrio
ki[22:27]= 45 #frontal acero

#espesor:
esi=np.zeros(74)
#esi[0]= no se necesita

#esi[8:14]=0.035 #m #TEMPLADOR
esi[8:14]=0.015 #m #TEMPLADOR
esi[14:22]=esi[29:74]=0.02
esi[27:29]=0.004
esi[22:27]=0.01

#EXTERIOR

#espesor
ese=np.zeros(74)

ese[14:22]=ese[29:74]=0.003
ese[8:14]=0.02 #m aislante templador
ese[22:27]=0.01#### aislante frontal fibra de vidrio

#emisividad
eme=np.zeros(74)

eme[8:14]=emi[8:14] #templador
eme[14:22]=eme[29:74]=0.8 #base costados y espalda
eme[27:29]= emi[27:29] #vidrio
eme[22:27]= emi[22:27] #frontal acero

#conductividades
ke= np.ones(74)
ke[14:22]=ke[29:74]=45 #acero sobre vermiculita
ke[8:14]=0.05 #aislante dentro de templador
ke[22:27]=0.04 #aislante frontal rodea vidrio

#Áreas

A=np.zeros(74)
A[0]=0.206*0.291
A[1]=0.206*0.270
A[2]=A[0]
A[3]=A[1]
A[4]=0.270*0.291
A[5]=0.045*0.045
A[6]=0.270*0.045
A[7]=A[5]
A[8]=0.291*0.045
A[9]=A[5]
A[10]=0.27*0.045
A[11]=A[5]
A[12]=A[8]

```

```

A[13]=A[4]
A[14]=A[5]
A[15]=A[10]
A[16]=A[5]
A[17]=A[8]
A[18]=A[5]
A[19]=A[10]
A[20]=A[5]
A[21]=A[8]
A[22]=0.206*0.045
A[23]=0.103*0.045
A[24]=0.270*0.05
A[25]=A[22]
A[26]=A[23]
A[27]=0.270*(0.206-0.05) #0.27*0.136
A[28]=0.270*(0.309-0.206) #0.27*0.103
A[29]=0.045*0.103
A[30]=(0.127-0.045)*0.103 #0.082*0.103
A[31]=0.127*0.103
A[32]=A[30]
A[33]=A[29]
A[34]=A[29]
A[35]=A[30]
A[36]=A[31]
A[37]=A[32]
A[38]=A[33]
A[39]=A[29]
A[40]=A[30]
A[41]=A[31]
A[42]=A[32]
A[43]=A[33]
A[44]=A[29]
A[45]=A[30]
A[46]=A[31]
A[47]=A[32]
A[48]=A[33]
A[49]=A[29]
A[50]=A[30]
A[51]=A[31]
A[52]=A[32]
A[53]=A[33]
A[54]=A[29]
A[55]=A[30]
A[56]=A[31]
A[57]=A[32]
A[58]=A[33]
A[59]=0.045*0.103
A[60]=(0.120-0.045)*0.103 #0.075*0.045
A[61]=0.12*0.103
A[62]=A[60]
A[63]=A[59]
A[64]=A[59]
A[65]=A[60]
A[66]=A[61]
A[67]=A[62]
A[68]=A[63]
A[69]=A[59]

```

```

A[70]=A[60]
A[71]=A[61]
A[72]=A[62]
A[73]=A[63]

#factores de forma

def ff_rectangulos_paralelos(a,b,c):
    X=a/c
    Y=b/c
    d= log(((1+X**2)*(1+Y**2)/(1+X**2+Y**2))**(1/2))
    e= X*((1+Y**2)**(1/2))*atan(X/((1+Y**2)**(1/2)))
    f= Y*((1+X**2)**(1/2))*atan(Y/((1+X**2)**(1/2)))
    g= X*atan(X)
    h= Y*atan(Y)
    F12= (2/(pi*X*Y))*(d+e+f-g-h)
    return F12

def ff_rectangulos_perpendiculares(h,l,w):
    H= h/l
    W=w/l
    a=((1+W**2)*(1+H**2))/(1+W**2+H**2)
    b=(W**2*(1+W**2+H**2)/((1+W**2)*(W**2+H**2))**(W**2))
    c=(H**2*(1+H**2+W**2)/((1+H**2)*(H**2+W**2))**(H**2))
    d=a*b*c
    e= W*atan(1/W)+H*atan(1/H)-
    ((H**2+W**2)**(1/2))*atan(1/((H**2+W**2)**(1/2)))
    F12= (1/(pi*W))*(e+((1/4)*log(d)))
    return F12

def ff_rec_pen_dis(x1,x2,y1,y2,n1,n2,e1,e2):
    x=np.array([0,x1,x2])
    y=np.array([0,y1,y2])
    n=np.array([0,n1,n2])
    e=np.array([0,e1,e2])
    A=1/((x2-x1)*(y2-y1)*2*pi)
    F12=0
    for l in range(1,3):
        for k in range(1,3):
            for j in range(1,3):
                for i in range(1,3):
                    C=(x[i]**2+e[l]**2)**(1/2)
                    D=(y[j]-n[k])/C
                    a=(y[j]-n[k])*C*atan(D)
                    b=((C**2)/4)*(1-D**2)*log((C**2)*(1+D**2))
                    B=a-b
                    F12+= (((-1)**(i+j+k+1))*B)

    F12= A*F12
    return F12

def ff_rec_par_dis(x1,x2,y1,y2,n1,n2,e1,e2,z):
    x=np.array([0,x1,x2])
    y=np.array([0,y1,y2])
    n=np.array([0,n1,n2])
    e=np.array([0,e1,e2])

```

```

A=1/((x2-x1)*(y2-y1)*2*pi)
F12=0
for l in range (1,3):
    for k in range (1,3):
        for j in range (1,3):
            for i in range (1,3):
                u=(x[i]-e[l])
                v=(y[j]-n[k])
                p=(u**2+z**2)**(1/2)
                q=(v**2+z**2)**(1/2)
                B=v*p*atan(v/p)+u*q*atan(u/q)-
(z**2/2)*log(u**2+v**2+z**2)
                F12+= (((-1)**(i+j+k+1))*B)

F12= A*F12
return F12

# In[3]:

#Factores de forma
F=np.zeros((74,74))

#factor de forma llama lateral izquierda al resto
F[0,14]= ff_rec_pen_dis(10**-16,0.206,0.045,0.291+0.045,0,0.045,0,0.045)
F[0,20]= F[0,14]
F[0,21]= ff_rec_pen_dis(10**-
16,0.206,0.045,0.291+0.045,0.045,0.291+0.045,0,0.045)
F[0,11]= ff_rec_pen_dis(0.103,0.309,0.045,0.291+0.045,0,0.045,0,0.045)
F[0,5]= F[0,11]
F[0,12]=
ff_rec_pen_dis(0.103,0.309,0.045,0.291+0.045,0.045,0.291+0.045,0,0.045)
F[0,22]= ff_rec_pen_dis(0.045,0.291+0.045,0,0.206,0,0.206,0,0.045)
F[0,23]= ff_rec_pen_dis(0.045,0.291+0.045,0,0.206,0.206,0.309,0,0.045)
F[0,59]= ff_rec_pen_dis(0.045,0.291+0.045,0,0.206,0,0.103,0,0.045)
F[0,64]= ff_rec_pen_dis(0.045,0.291+0.045,0,0.206,0.103,0.206,0,0.045)
F[0,69]= ff_rec_pen_dis(0.045,0.291+0.045,0,0.206,0.206,0.309,0,0.045)
F[0,29]= ff_rec_par_dis(0,0.206,0.045,0.291+0.045,0,0.045,0,0.103,0.045)
F[0,30]=
ff_rec_par_dis(0,0.206,0.045,0.291+0.045,0.045,0.127,0,0.103,0.045)
F[0,31]=
ff_rec_par_dis(0,0.206,0.045,0.291+0.045,0.127,(0.127*2),0,0.103,0.045)
F[0,32]= F[0,30]
F[0,33]= F[0,29]
F[0,34]=
ff_rec_par_dis(0,0.206,0.045,0.291+0.045,0,0.045,0.103,0.206,0.045)
F[0,35]=
ff_rec_par_dis(0,0.206,0.045,0.291+0.045,0.045,0.127,0.103,0.206,0.045)
F[0,36]=
ff_rec_par_dis(0,0.206,0.045,0.291+0.045,0.127,(0.127*2),0.103,0.206,0.04
5)
F[0,37]= F[0,35]
F[0,38]= F[0,34]
F[0,39]=
ff_rec_par_dis(0,0.206,0.045,0.291+0.045,0,0.045,0.206,0.309,0.045)
F[0,40]=
ff_rec_par_dis(0,0.206,0.045,0.291+0.045,0.045,0.127,0.206,0.309,0.045)

```

```

F[0,41]=
ff_rec_par_dis(0,0.206,0.045,0.291+0.045,0.127,(0.127*2),0.206,0.309,0.04
5)
F[0,42]= F[0,40]
F[0,43]= F[0,39]

#Factor de forma llama lateral derecha al resto
F[2,16]= F[0,14]
F[2,18]= F[0,20]
F[2,17]= F[0,21]
F[2,9]= F[0,11]
F[2,7]=F[0,5]
F[2,8]=F[0,12]
F[2,25]= ff_rec_pen_dis(0.045,0.291+0.045,0,0.206,0,0.206,0,0.045)
F[2,26]= ff_rec_pen_dis(0.045,0.291+0.045,0,0.206,0.206,0.309,0,0.045)
F[2,63]= ff_rec_pen_dis(0.045,0.291+0.045,0,0.206,0,0.103,0,0.045)
F[2,68]= ff_rec_pen_dis(0.045,0.291+0.045,0,0.206,0.103,0.206,0,0.045)
F[2,73]= ff_rec_pen_dis(0.045,0.291+0.045,0,0.206,0.206,0.309,0,0.045)
F[2,44]= ff_rec_par_dis(0,0.206,0.045,0.291+0.045,0,0.045,0,0.103,0.045)
F[2,45]=
ff_rec_par_dis(0,0.206,0.045,0.291+0.045,0.045,0.127,0,0.103,0.045)
F[2,46]=
ff_rec_par_dis(0,0.206,0.045,0.291+0.045,0.127,(0.127*2),0,0.103,0.045)
F[2,47]= F[0,30]
F[2,48]= F[0,29]
F[2,49]=
ff_rec_par_dis(0,0.206,0.045,0.291+0.045,0,0.045,0.103,0.206,0.045)
F[2,50]=
ff_rec_par_dis(0,0.206,0.045,0.291+0.045,0.045,0.127,0.103,0.206,0.045)
F[2,51]=
ff_rec_par_dis(0,0.206,0.045,0.291+0.045,0.127,(0.127*2),0.103,0.206,0.04
5)
F[2,52]= F[0,35]
F[2,53]= F[0,34]
F[2,54]=
ff_rec_par_dis(0,0.206,0.045,0.291+0.045,0,0.045,0.206,0.309,0.045)
F[2,55]=
ff_rec_par_dis(0,0.206,0.045,0.291+0.045,0.045,0.127,0.206,0.309,0.045)
F[2,56]=
ff_rec_par_dis(0,0.206,0.045,0.291+0.045,0.127,(0.127*2),0.206,0.309,0.04
5)
F[2,57]= F[0,40]
F[2,58]= F[0,39]

#Factor de forma llama superior al resto
F[4,13]= ff_rectangulos_paralelos(0.291,0.27,0.103)
F[4,9]=
ff_rec_par_dis(0.045,0.291+0.045,0.045,0.27+0.045,0,0.045,0,0.045,0.103)
F[4,5]=F[4,9]
F[4,7]=F[4,9]
F[4,11]=F[4,9]
F[4,41]=ff_rec_pen_dis(0.045,0.27+0.045,0.045,0.045+0.291,0.127,0.127*2,0
,0.103)
F[4,56]=F[4,41]
F[4,39]=ff_rec_pen_dis(0.045,0.27+0.045,0.045,0.045+0.291,0,0.045,0,0.103
)

```

```

F[4,43]=F[4,39]
F[4,54]=F[4,39]
F[4,58]=F[4,39]
F[4,40]=ff_rec_pen_dis(0.045,0.27+0.045,0.045,0.045+0.291,0.045,0.127,0,0
.103)
F[4,42]=F[4,40]
F[4,55]=F[4,40]
F[4,57]=F[4,40]
F[4,69]=ff_rec_pen_dis(0.045,0.291+0.045,0.045,0.045+0.27,0,0.045,0,0.103
)
F[4,73]=F[4,69]
F[4,70]=ff_rec_pen_dis(0.045,0.291+0.045,0.045,0.045+0.27,0.045,0.12,0,0.
103)
F[4,72]=F[4,70]
F[4,71]=ff_rec_pen_dis(0.045,0.291+0.045,0.045,0.045+0.27,0.12,0.24,0,0.1
03)
F[4,12]=
ff_rec_par_dis(0.045,0.045+0.27,0.045,0.291+0.045,0.045,0.291+0.045,0,0.0
45,0.103)
F[4,8]=F[4,12]
F[4,10]=ff_rec_par_dis(0.045,0.045+0.291,0.045,0.045+0.27,0.045,0.045+0.2
7,0,0.045,0.103)
F[4,6]=F[4,10]
F[4,23]=F[4,69]
F[4,26]=F[4,69]
F[4,28]=ff_rec_pen_dis(0.045,0.045+0.291,0.045,0.045+0.27,0.045,0.045+0.2
7,0,0.103)

#Factor de forma llama espalda al resto
F[3,59]=ff_rec_par_dis(0,0.206,0.045,0.27+0.045,0,0.045,0,0.103,0.045)
F[3,60]=ff_rec_par_dis(0,0.206,0.045,0.27+0.045,0.045,0.12,0,0.103,0.045)
F[3,61]=ff_rec_par_dis(0,0.206,0.045,0.27+0.045,0.12,0.24,0,0.103,0.045)
F[3,62]=F[3,60]
F[3,63]=F[3,59]
F[3,64]=ff_rec_par_dis(0,0.206,0.045,0.27+0.045,0,0.045,0.103,0.206,0.045
)
F[3,65]=ff_rec_par_dis(0,0.206,0.045,0.27+0.045,0.045,0.12,0.103,0.206,0.
045)
F[3,66]=ff_rec_par_dis(0,0.206,0.045,0.27+0.045,0.12,0.24,0.103,0.206,0.0
45)
F[3,67]=F[3,65]
F[3,68]=F[3,64]
F[3,69]=ff_rec_par_dis(0,0.206,0.045,0.27+0.045,0,0.045,0.206,0.309,0.045
)
F[3,70]=ff_rec_par_dis(0,0.206,0.045,0.27+0.045,0.045,0.12,0.206,0.309,0.
045)
F[3,71]=ff_rec_par_dis(0,0.206,0.045,0.27+0.045,0.12,0.24,0.206,0.309,0.0
45)
F[3,72]=F[3,70]
F[3,73]=F[3,69]
F[3,33]=ff_rec_pen_dis(0.045,0.045+0.27,0,0.206,0,0.103,0,0.045)
F[3,38]=ff_rec_pen_dis(0.045,0.045+0.27,0,0.206,0.103,0.206,0,0.045)
F[3,43]=ff_rec_pen_dis(0.045,0.045+0.27,0,0.206,0.206,0.309,0,0.045)
F[3,48]=F[3,33]
F[3,53]=F[3,38]
F[3,58]=F[3,43]
F[3,20]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.206,0.045,0.27+0.045,0,0.045,0,0.045)

```

```

F[3,18]=F[3,20]
F[3,19]=ff_rec_pen_dis(10**-
16,0.206,0.045,0.27+0.045,0.045,0.045+0.27,0,0.045)
F[3,9]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.309,0.045,0.045+0.27,0,0.045,0,0.045)
F[3,11]=F[3,9]
F[3,10]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.309,0.045,0.045+0.27,0.045,0.045+0.27,0,0.
045)

#Factor de forma llama frontal al resto
F[1,15]=F[3,19]
F[1,14]=F[3,18]
F[1,16]=F[3,18]
F[1,6]=F[3,10]
F[1,5]= F[3,11]
F[1,7]= F[1,5]
F[1,29]=F[3,48]
F[1,34]=F[3,53]
F[1,39]=F[3,58]
F[1,44]=F[1,29]
F[1,49]=F[1,34]
F[1,54]=F[1,39]
F[1,24]=ff_rec_par_dis(0,0.206,0.045,0.045+0.27,0.045,0.045+0.27,0,0.05,0
.045)
F[1,27]=ff_rec_par_dis(0,0.206,0.045,0.045+0.27,0.045,0.045+0.27,0.05,0.2
06,0.045)
F[1,28]=ff_rec_par_dis(0,0.206,0.045,0.045+0.27,0.045,0.045+0.27,0.206,0.
309,0.045)
F[1,22]=ff_rec_par_dis(0,0.206,0.045,0.27+0.045,0,0.045,0,0.206,0.045)
F[1,23]=ff_rec_par_dis(0,0.206,0.045,0.27+0.045,0,0.045,0.206,0.309,0.045
)
F[1,25]=F[1,22]
F[1,26]=F[1,23]

#Izquierda 1.1 al resto

F[29,0]=(A[0]*F[0,29])/A[29]
F[29,1]=(A[1]*F[1,29])/A[29]
F[29,14]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0,0.045,0,0.045,0,0.045)
F[29,15]=ff_rec_pen_dis(0,0.103,0,0.045,0,0.045,0.045,0.36-0.045)
F[29,16]=ff_rec_pen_dis(0,0.103,0,0.045,0,0.045,0.36-0.045,0.36)
F[29,44]=ff_rectangulos_paralelos(0.045,0.103,0.36)
F[29,49]=ff_rec_par_dis(0,0.103,0,0.045,0,0.045,0.103,0.206,0.36)
F[29,54]=ff_rec_par_dis(0,0.103,0,0.045,0,0.045,0.206,0.309,0.36)
F[29,5]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0,0.045,0,0.045,0,0.045)
F[29,6]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0,0.045,0,0.045,0.045,0.36-0.045)
F[29,7]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0,0.045,0,0.045,0.36-0.045,0.36)
F[29,22]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.045,0,0.103,0,0.206,0,0.045)
F[29,23]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.045,0,0.103,0.206,0.309,0,0.045)
F[29,24]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0,0.103,0,0.05,0.045,0.36-0.045)
F[29,27]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0,0.103,0.05,0.206,0.045,0.36-0.045)
F[29,28]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0,0.103,0.206,0.309,0.045,0.36-0.045)
F[29,25]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0,0.103,0,0.206,0.36-0.045,0.36)
F[29,26]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0,0.103,0.206,0.309,0.36-0.045,0.36)
F[29,21]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0,0.045,0.045,0.381-0.045,0,0.045)
F[29,20]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0,0.045,0.381-0.045,0.381,0,0.045)
F[29,59]=ff_rec_pen_dis(0.381-0.045,0.381,0,0.103,0,0.103,0,0.045)
F[29,64]=ff_rec_pen_dis(0.381-0.045,0.381,0,0.103,0.103,0.206,0,0.045)

```

```

F[29,69]=ff_rec_pen_dis(0.381-0.045,0.381,0,0.103,0.206,0.309,0,0.045)
F[29,12]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0,0.045,0.045,0.381-0.045,0,0.045)
F[29,11]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0,0.045,0.381-0.045,0.381,0,0.045)
F[29,13]=1-np.sum(F[29,:])

#Derecha 1.1 al resto
F[44,2]=(A[2]*F[2,44])/A[44]
F[44,1]=(A[1]*F[1,44])/A[44]
F[44,16]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0,0.045,0,0.045,0,0.045)
F[44,15]=ff_rec_pen_dis(0,0.103,0,0.045,0,0.045,0.045,0.36-0.045)
F[44,14]=ff_rec_pen_dis(0,0.103,0,0.045,0,0.045,0.36-0.045,0.36)
F[44,29]=ff_rectangulos_paralelos(0.045,0.103,0.36)
F[44,34]=ff_rec_par_dis(0,0.103,0,0.045,0,0.045,0.103,0.206,0.36)
F[44,39]=ff_rec_par_dis(0,0.103,0,0.045,0,0.045,0.206,0.309,0.36)
F[44,7]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0,0.045,0,0.045,0,0.045)
F[44,6]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0,0.045,0,0.045,0.045,0.36-0.045)
F[44,5]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0,0.045,0,0.045,0.36-0.045,0.36)
F[44,25]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.045,0,0.103,0,0.206,0,0.045)
F[44,26]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.045,0,0.103,0.206,0.309,0,0.045)
F[44,24]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0,0.103,0,0.05,0.045,0.36-0.045)
F[44,27]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0,0.103,0.05,0.206,0.045,0.36-0.045)
F[44,28]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0,0.103,0.206,0.309,0.045,0.36-0.045)
F[44,22]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0,0.103,0,0.206,0.36-0.045,0.36)
F[44,23]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0,0.103,0.206,0.309,0.36-0.045,0.36)
F[44,17]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0,0.045,0.045,0.381-0.045,0,0.045)
F[44,18]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0,0.045,0.381-0.045,0.381,0,0.045)
F[44,63]=ff_rec_pen_dis(0.381-0.045,0.381,0,0.103,0,0.103,0,0.045)
F[44,68]=ff_rec_pen_dis(0.381-0.045,0.381,0,0.103,0.103,0.206,0,0.045)
F[44,73]=ff_rec_pen_dis(0.381-0.045,0.381,0,0.103,0.206,0.309,0,0.045)
F[44,8]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0,0.045,0.045,0.381-0.045,0,0.045)
F[44,9]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0,0.045,0.381-0.045,0.381,0,0.045)
F[44,13]=1-np.sum(F[44,:])

#Izquierda 1.2 al resto

F[30,0]=(A[0]*F[0,30])/A[30]
F[30,14]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0.045,0.127,0,0.045,0,0.045)
F[30,21]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0.045,0.127,0.045,0.381-
0.045,0,0.045)
F[30,20]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0.045,0.127,0.381-
0.045,0.381,0,0.045)
F[30,5]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0.045,0.127,0,0.045,0,0.045)
F[30,12]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0.045,0.127,0.045,0.381-
0.045,0,0.045)
F[30,11]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0.045,0.127,0.381-
0.045,0.381,0,0.045)
F[30,22]=ff_rec_pen_dis(0.045,0.127,0,0.103,0,0.206,0,0.045)
F[30,23]=ff_rec_pen_dis(0.045,0.127,0,0.103,0.206,0.309,0,0.045)
F[30,59]=ff_rec_pen_dis(0.127*2,0.381-0.045,0,0.103,0,0.103,0,0.045)
F[30,64]=ff_rec_pen_dis(0.127*2,0.381-0.045,0,0.103,0.103,0.206,0,0.045)
F[30,69]=ff_rec_pen_dis(0.127*2,0.381-0.045,0,0.103,0.206,0.309,0,0.045)
F[30,13]=1-np.sum(F[30,:])

#Derecha 1.2 al resto

F[45,2]=(A[2]*F[2,45])/A[45]
F[45,16]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0.045,0.127,0,0.045,0,0.045)

```

```

F[45,17]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0.045,0.127,0.045,0.381-
0.045,0,0.045)
F[45,18]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0.045,0.127,0.381-
0.045,0.381,0,0.045)
F[45,7]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0.045,0.127,0,0.045,0,0.045)
F[45,8]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0.045,0.127,0.045,0.381-0.045,0,0.045)
F[45,9]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0.045,0.127,0.381-0.045,0.381,0,0.045)
F[45,25]=ff_rec_pen_dis(0.045,0.127,0,0.103,0,0.206,0,0.045)
F[45,26]=ff_rec_pen_dis(0.045,0.127,0,0.103,0.206,0.309,0,0.045)
F[45,63]=ff_rec_pen_dis(0.127*2,0.381-0.045,0,0.103,0,0.103,0,0.045)
F[45,68]=ff_rec_pen_dis(0.127*2,0.381-0.045,0,0.103,0.103,0.206,0,0.045)
F[45,73]=ff_rec_pen_dis(0.127*2,0.381-0.045,0,0.103,0.206,0.309,0,0.045)
F[45,13]=1-np.sum(F[45,:])

```

#Izquierda 1.3 al resto

```

F[31,0]=(A[0]*F[0,31])/A[31]
F[31,21]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0.127,0.127*2,0.045,0.381-
0.045,0,0.045)
F[31,14]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0.127,0.127*2,0,0.045,0,0.045)
F[31,20]=F[31,14]
F[31,12]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0.127,0.127*2,0.045,0.381-
0.045,0,0.045)
F[31,5]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0.127,0.127*2,0,0.045,0,0.045)
F[31,11]=F[31,5]
F[31,22]=ff_rec_pen_dis(0.127,0.127*2,0,0.103,0,0.206,0,0.045)
F[31,23]=ff_rec_pen_dis(0.127,0.127*2,0,0.103,0.206,0.309,0,0.045)
F[31,69]=ff_rec_pen_dis(0.127,0.127*2,0,0.103,0.206,0.309,0,0.045)
F[31,59]=ff_rec_pen_dis(0.127,0.127*2,0,0.103,0,0.103,0,0.045)
F[31,64]=ff_rec_pen_dis(0.127,0.127*2,0,0.103,0.103,0.206,0,0.045)
F[31,13]= 1-np.sum(F[31,:])

```

#Derecha 1.3 al resto

```

F[46,2]=(A[2]*F[2,46])/A[46]
F[46,17]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0.127,0.127*2,0.045,0.381-
0.045,0,0.045)
F[46,16]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0.127,0.127*2,0,0.045,0,0.045)
F[46,18]=F[31,14]
F[46,8]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0.127,0.127*2,0.045,0.381-
0.045,0,0.045)
F[46,7]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0.127,0.127*2,0,0.045,0,0.045)
F[46,9]=F[31,5]
F[46,25]=ff_rec_pen_dis(0.127,0.127*2,0,0.103,0,0.206,0,0.045)
F[46,26]=ff_rec_pen_dis(0.127,0.127*2,0,0.103,0.206,0.309,0,0.045)
F[46,73]=ff_rec_pen_dis(0.127,0.127*2,0,0.103,0.206,0.309,0,0.045)
F[46,63]=ff_rec_pen_dis(0.127,0.127*2,0,0.103,0,0.103,0,0.045)
F[46,68]=ff_rec_pen_dis(0.127,0.127*2,0,0.103,0.103,0.206,0,0.045)
F[46,13]= 1-np.sum(F[46,:])

```

#Izquierda 1.4 al resto

```

F[32,0]=(A[0]*F[0,32])/A[32]
F[32,20]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0.045,0.127,0,0.045,0,0.045)
F[32,21]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0.045,0.127,0.045,0.381-
0.045,0,0.045)

```

```

F[32,14]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0.045,0.127,0.381-
0.045,0.381,0,0.045)
F[32,11]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0.045,0.127,0,0.045,0,0.045)
F[32,12]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0.045,0.127,0.045,0.381-
0.045,0,0.045)
F[32,5]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0.045,0.127,0.381-0.045,0.381,0,0.045)
F[32,59]=ff_rec_pen_dis(0.045,0.127,0,0.103,0,0.103,0,0.045) #
F[32,64]=ff_rec_pen_dis(0.045,0.127,0,0.103,0.103,0.206,0,0.045)
F[32,69]=ff_rec_pen_dis(0.045,0.127,0,0.103,0.206,0.309,0,0.045) #
F[32,22]=ff_rec_pen_dis(0.127*2,0.381-0.045,0,0.103,0,0.206,0,0.045)
F[32,23]=ff_rec_pen_dis(0.127*2,0.381-0.045,0,0.103,0.206,0.309,0,0.045)
F[32,13]=1-np.sum(F[32,:])

```

#Derecha 1.4 al resto

```

F[47,2]=(A[2]*F[2,47])/A[47]
F[47,18]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0.045,0.127,0,0.045,0,0.045)
F[47,17]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0.045,0.127,0.045,0.381-
0.045,0,0.045)
F[47,16]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0.045,0.127,0.381-
0.045,0.381,0,0.045)
F[47,9]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0.045,0.127,0,0.045,0,0.045)
F[47,8]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0.045,0.127,0.045,0.381-0.045,0,0.045)
F[47,7]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0.045,0.127,0.381-0.045,0.381,0,0.045)
F[47,63]=ff_rec_pen_dis(0.045,0.127,0,0.103,0,0.103,0,0.045) #
F[47,68]=ff_rec_pen_dis(0.045,0.127,0,0.103,0.103,0.206,0,0.045)
F[47,73]=ff_rec_pen_dis(0.045,0.127,0,0.103,0.206,0.309,0,0.045) #
F[47,25]=ff_rec_pen_dis(0.127*2,0.381-0.045,0,0.103,0,0.206,0,0.045)
F[47,26]=ff_rec_pen_dis(0.127*2,0.381-0.045,0,0.103,0.206,0.309,0,0.045)
F[47,13]=1-np.sum(F[47,:])

```

#Izquierda 1.5 al resto

```

F[33,0]=(A[0]*F[0,33])/A[33]
F[33,3]=(A[3]*F[3,33])/A[33]
F[33,20]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0,0.045,0,0.045,0,0.045)
F[33,19]=ff_rec_pen_dis(0,0.103,0,0.045,0,0.045,0.045,0.36-0.045)
F[33,18]=ff_rec_pen_dis(0,0.103,0,0.045,0,0.045,0.36-0.045,0.36)
F[33,48]=ff_rectangulos_paralelos(0.045,0.103,0.36)
F[33,53]=ff_rec_par_dis(0,0.103,0,0.045,0,0.045,0.103,0.206,0.36)
F[33,58]=ff_rec_par_dis(0,0.103,0,0.045,0,0.045,0.206,0.309,0.36)
F[33,11]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0,0.045,0,0.045,0,0.045)
F[33,10]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0,0.045,0,0.045,0.045,0.36-0.045)
F[33,9]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0,0.045,0,0.045,0.36-0.045,0.36)
F[33,59]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.045,0,0.103,0,0.103,0,0.045)
F[33,64]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.045,0,0.103,0.103,0.206,0,0.045)
F[33,69]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.045,0,0.103,0.206,0.309,0,0.045)
F[33,60]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0,0.103,0,0.103,0.045,0.12)
F[33,61]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0,0.103,0,0.103,0.12,0.12*2)
F[33,62]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0,0.103,0,0.103,0.12*2,0.36-0.045)
F[33,63]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0,0.103,0,0.103,0.36-0.045,0.36)
F[33,65]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0,0.103,0.103,0.206,0.045,0.12)
F[33,66]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0,0.103,0.103,0.206,0.12,0.12*2)
F[33,67]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0,0.103,0.103,0.206,0.12*2,0.36-0.045)
F[33,68]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0,0.103,0.103,0.206,0.36-0.045,0.36)
F[33,70]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0,0.103,0.206,0.309,0.045,0.12)

```

```

F[33,71]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0,0.103,0.206,0.309,0.12,0.12*2)
F[33,72]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0,0.103,0.206,0.309,0.12*2,0.36-0.045)
F[33,73]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0,0.103,0.206,0.309,0.36-0.045,0.36)
F[33,21]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0,0.045,0.045,0.381-0.045,0,0.045)
F[33,14]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0,0.045,0.381-0.045,0.381,0,0.045)
F[33,22]=ff_rec_pen_dis(0.381-0.045,0.381,0,0.103,0,0.206,0,0.045)
F[33,23]=ff_rec_pen_dis(0.381-0.045,0.381,0,0.103,0.206,0.309,0,0.045)
F[33,12]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0,0.045,0.045,0.381-0.045,0,0.045)
F[33,5]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0,0.045,0.381-0.045,0.381,0,0.045)
F[33,13]=1-np.sum(F[33,:])

```

#Derecha 1.5 al resto

```

F[48,2]=(A[2]*F[2,48])/A[48]
F[48,3]=(A[3]*F[3,48])/A[48]
F[48,18]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0,0.045,0,0.045,0,0.045)
F[48,19]=ff_rec_pen_dis(0,0.103,0,0.045,0,0.045,0.045,0.36-0.045)
F[48,20]=ff_rec_pen_dis(0,0.103,0,0.045,0,0.045,0.36-0.045,0.36)
F[48,33]=ff_rectangulos_paralelos(0.045,0.103,0.36)
F[48,38]=ff_rec_par_dis(0,0.103,0,0.045,0,0.045,0.103,0.206,0.36)
F[48,43]=ff_rec_par_dis(0,0.103,0,0.045,0,0.045,0.206,0.309,0.36)
F[48,9]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0,0.045,0,0.045,0,0.045)
F[48,10]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0,0.045,0,0.045,0.045,0.36-0.045)
F[48,11]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0,0.045,0,0.045,0.36-0.045,0.36)
F[48,63]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.045,0,0.103,0,0.103,0,0.045)#
F[48,68]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.045,0,0.103,0.103,0.206,0,0.045)
F[48,73]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.045,0,0.103,0.206,0.309,0,0.045)
F[48,62]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0,0.103,0,0.103,0.045,0.12)
F[48,61]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0,0.103,0,0.103,0.12,0.12*2)
F[48,60]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0,0.103,0,0.103,0.12*2,0.36-0.045)
F[48,59]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0,0.103,0,0.103,0.36-0.045,0.36)
F[48,67]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0,0.103,0.103,0.206,0.045,0.12)
F[48,66]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0,0.103,0.103,0.206,0.12,0.12*2)
F[48,65]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0,0.103,0.103,0.206,0.12*2,0.36-0.045)
F[48,64]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0,0.103,0.103,0.206,0.36-0.045,0.36)
F[48,72]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0,0.103,0.206,0.309,0.045,0.12)
F[48,71]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0,0.103,0.206,0.309,0.12,0.12*2)
F[48,70]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0,0.103,0.206,0.309,0.12*2,0.36-0.045)
F[48,69]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0,0.103,0.206,0.309,0.36-0.045,0.36)
F[48,17]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0,0.045,0.045,0.381-0.045,0,0.045)
F[48,16]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0,0.045,0.381-0.045,0.381,0,0.045)
F[48,25]=ff_rec_pen_dis(0.381-0.045,0.381,0,0.103,0,0.206,0,0.045)
F[48,26]=ff_rec_pen_dis(0.381-0.045,0.381,0,0.103,0.206,0.309,0,0.045)
F[48,8]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0,0.045,0.045,0.381-0.045,0,0.045)
F[48,7]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0,0.045,0.381-0.045,0.381,0,0.045)
F[48,13]=1-np.sum(F[48,:])

```

#Izquierda 2.3 al resto

```

F[36,0]=(A[0]*F[0,36])/A[36]
F[36,21]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0.127,0.127*2,0.045,0.381-0.045,0,0.045)
F[36,14]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0.127,0.127*2,0,0.045,0,0.045)
F[36,20]=F[36,14]

```

```

F[36,12]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0.127,0.127*2,0.045,0.381-
0.045,0,0.045)
F[36,5]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0.127,0.127*2,0,0.045,0,0.045)
F[36,11]=F[36,5]
F[36,22]=ff_rec_pen_dis(0.127,0.127*2,0.103,0.206,0,0.206,0,0.045)
F[36,23]=ff_rec_pen_dis(0.127,0.127*2,0.103,0.206,0.206,0.309,0,0.045)
F[36,69]=ff_rec_pen_dis(0.127,0.127*2,0.103,0.206,0.206,0.309,0,0.045)
F[36,59]=ff_rec_pen_dis(0.127,0.127*2,0.103,0.206,0,0.103,0,0.045)
F[36,64]=ff_rec_pen_dis(0.127,0.127*2,0.103,0.206,0.103,0.206,0,0.045)
F[36,13]= 1-np.sum(F[36,:])

#Derecha 2.3 al resto

F[51,2]=(A[2]*F[2,51])/A[51]
F[51,17]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0.127,0.127*2,0.045,0.381-
0.045,0,0.045)
F[51,16]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0.127,0.127*2,0,0.045,0,0.045)
F[51,18]=F[36,14]
F[51,8]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0.127,0.127*2,0.045,0.381-
0.045,0,0.045)
F[51,7]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0.127,0.127*2,0,0.045,0,0.045)
F[51,9]=F[36,5]
F[51,25]=ff_rec_pen_dis(0.127,0.127*2,0.103,0.206,0,0.206,0,0.045)
F[51,26]=ff_rec_pen_dis(0.127,0.127*2,0.103,0.206,0.206,0.309,0,0.045)
F[51,73]=ff_rec_pen_dis(0.127,0.127*2,0.103,0.206,0.206,0.309,0,0.045)
F[51,63]=ff_rec_pen_dis(0.127,0.127*2,0.103,0.206,0,0.103,0,0.045)
F[51,68]=ff_rec_pen_dis(0.127,0.127*2,0.103,0.206,0.103,0.206,0,0.045)
F[51,13]= 1-np.sum(F[51,:])

#Izquierda 2.2 al resto

F[35,0]=(A[0]*F[0,35])/A[35]
F[35,14]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0.045,0.127,0,0.045,0,0.045)
F[35,21]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0.045,0.127,0.045,0.381-
0.045,0,0.045)
F[35,20]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0.045,0.127,0.381-
0.045,0.381,0,0.045)
F[35,5]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0.045,0.127,0,0.045,0,0.045)
F[35,12]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0.045,0.127,0.045,0.381-
0.045,0,0.045)
F[35,11]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0.045,0.127,0.381-
0.045,0.381,0,0.045)
F[35,22]=ff_rec_pen_dis(0.045,0.127,0.103,0.206,0,0.206,0,0.045)
F[35,23]=ff_rec_pen_dis(0.045,0.127,0.103,0.206,0.206,0.309,0,0.045)
F[35,59]=ff_rec_pen_dis(0.127*2,0.381-0.045,0.103,0.206,0,0.103,0,0.045)
F[35,64]=ff_rec_pen_dis(0.127*2,0.381-
0.045,0.103,0.206,0.103,0.206,0,0.045)
F[35,69]=ff_rec_pen_dis(0.127*2,0.381-
0.045,0.103,0.206,0.206,0.309,0,0.045)
F[35,13]=1-np.sum(F[35,:])

#Derecha 2.2 al resto

F[50,2]=(A[2]*F[2,50])/A[50]
F[50,16]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0.045,0.127,0,0.045,0,0.045)
F[50,17]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0.045,0.127,0.045,0.381-
0.045,0,0.045)

```

```

F[50,18]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0.045,0.127,0.381-
0.045,0.381,0,0.045)
F[50,7]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0.045,0.127,0,0.045,0,0.045)
F[50,8]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0.045,0.127,0.045,0.381-0.045,0,0.045)
F[50,9]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0.045,0.127,0.381-0.045,0.381,0,0.045)
F[50,25]=ff_rec_pen_dis(0.045,0.127,0.103,0.206,0,0.206,0,0.045)
F[50,26]=ff_rec_pen_dis(0.045,0.127,0.103,0.206,0.206,0.309,0,0.045)
F[50,63]=ff_rec_pen_dis(0.127*2,0.381-0.045,0.103,0.206,0,0.103,0,0.045)
F[50,68]=ff_rec_pen_dis(0.127*2,0.381-
0.045,0.103,0.206,0.103,0.206,0,0.045)
F[50,73]=ff_rec_pen_dis(0.127*2,0.381-
0.045,0.103,0.206,0.206,0.309,0,0.045)
F[50,13]=1-np.sum(F[50,:])

```

#Izquierda 2.4 al resto

```

F[37,0]=(A[0]*F[0,37])/A[37]
F[37,20]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0.045,0.127,0,0.045,0,0.045)
F[37,21]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0.045,0.127,0.045,0.381-
0.045,0,0.045)
F[37,14]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0.045,0.127,0.381-
0.045,0.381,0,0.045)
F[37,11]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0.045,0.127,0,0.045,0,0.045)
F[37,12]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0.045,0.127,0.045,0.381-
0.045,0,0.045)
F[37,5]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0.045,0.127,0.381-0.045,0.381,0,0.045)
F[37,59]=ff_rec_pen_dis(0.045,0.127,0.103,0.206,0,0.103,0,0.045) #
F[37,64]=ff_rec_pen_dis(0.045,0.127,0.103,0.206,0.103,0.206,0,0.045)
F[37,69]=ff_rec_pen_dis(0.045,0.127,0.103,0.206,0.206,0.309,0,0.045) #
F[37,22]=ff_rec_pen_dis(0.127*2,0.381-0.045,0.103,0.206,0,0.206,0,0.045)
F[37,23]=ff_rec_pen_dis(0.127*2,0.381-
0.045,0.103,0.206,0.206,0.309,0,0.045)
F[37,13]=1-np.sum(F[37,:])

```

#Derecha 2.4 al resto

```

F[52,2]=(A[2]*F[2,52])/A[52]
F[52,18]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0.045,0.127,0,0.045,0,0.045)
F[52,17]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0.045,0.127,0.045,0.381-
0.045,0,0.045)
F[52,16]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0.045,0.127,0.381-
0.045,0.381,0,0.045)
F[52,9]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0.045,0.127,0,0.045,0,0.045)
F[52,8]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0.045,0.127,0.045,0.381-0.045,0,0.045)
F[52,7]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0.045,0.127,0.381-0.045,0.381,0,0.045)
F[52,63]=ff_rec_pen_dis(0.045,0.127,0.103,0.206,0,0.103,0,0.045) #
F[52,68]=ff_rec_pen_dis(0.045,0.127,0.103,0.206,0.103,0.206,0,0.045)
F[52,73]=ff_rec_pen_dis(0.045,0.127,0.103,0.206,0.206,0.309,0,0.045) #
F[52,25]=ff_rec_pen_dis(0.127*2,0.381-0.045,0.103,0.206,0,0.206,0,0.045)
F[52,26]=ff_rec_pen_dis(0.127*2,0.381-
0.045,0.103,0.206,0.206,0.309,0,0.045)
F[52,13]=1-np.sum(F[52,:])

```

#Izquierda 2.1 al resto

```

F[34,0]=(A[0]*F[0,34])/A[34]

```

```

F[34,1]=(A[1]*F[1,34])/A[34]
F[34,14]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0,0.045,0,0.045,0,0.045)
F[34,15]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0,0.045,0,0.045,0.045,0.36-0.045)
F[34,16]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0,0.045,0,0.045,0.36-0.045,0.36)
F[34,44]=ff_rec_par_dis(0.103,0.206,0,0.045,0,0.045,0,0.103,0.36)
F[34,49]=ff_rec_par_dis(0.103,0.206,0,0.045,0,0.045,0.103,0.206,0.36)
F[34,54]=ff_rec_par_dis(0.103,0.206,0,0.045,0,0.045,0.206,0.309,0.36)
F[34,5]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0,0.045,0,0.045,0,0.045)
F[34,6]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0,0.045,0,0.045,0.045,0.36-0.045)
F[34,7]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0,0.045,0,0.045,0.36-0.045,0.36)
F[34,22]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.045,0.103,0.206,0,0.206,0,0.045)
F[34,23]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.045,0.103,0.206,0.206,0.309,0,0.045)
F[34,24]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0.103,0.206,0,0.05,0.045,0.36-0.045)
F[34,27]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0.103,0.206,0.05,0.206,0.045,0.36-0.045)
F[34,28]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0.103,0.206,0.206,0.309,0.045,0.36-0.045)
F[34,25]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0.103,0.206,0,0.206,0.36-0.045,0.36)
F[34,26]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0.103,0.206,0.206,0.309,0.36-0.045,0.36)
F[34,21]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0,0.045,0.045,0.381-0.045,0,0.045)
F[34,20]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0,0.045,0.381-0.045,0.381,0,0.045)
F[34,59]=ff_rec_pen_dis(0.381-0.045,0.381,0.103,0.206,0,0.103,0,0.045)
F[34,64]=ff_rec_pen_dis(0.381-
0.045,0.381,0.103,0.206,0.103,0.206,0,0.045)
F[34,69]=ff_rec_pen_dis(0.381-
0.045,0.381,0.103,0.206,0.206,0.309,0,0.045)
F[34,12]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0,0.045,0.045,0.381-0.045,0,0.045)
F[34,11]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0,0.045,0.381-0.045,0.381,0,0.045)
F[34,13]=1-np.sum(F[34,:])

```

#Derecha 2.1 al resto

```

F[49,2]=(A[2]*F[2,49])/A[49]
F[49,1]=(A[1]*F[1,49])/A[49]
F[49,16]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0,0.045,0,0.045,0,0.045)
F[49,15]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0,0.045,0,0.045,0.045,0.36-0.045)
F[49,14]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0,0.045,0,0.045,0.36-0.045,0.36)
F[49,29]=ff_rec_par_dis(0.103,0.206,0,0.045,0,0.045,0,0.103,0.36)
F[49,34]=ff_rec_par_dis(0.103,0.206,0,0.045,0,0.045,0.103,0.206,0.36)
F[49,39]=ff_rec_par_dis(0.103,0.206,0,0.045,0,0.045,0.206,0.309,0.36)
F[49,7]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0,0.045,0,0.045,0,0.045)
F[49,6]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0,0.045,0,0.045,0.045,0.36-0.045)
F[49,5]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0,0.045,0,0.045,0.36-0.045,0.36)
F[49,25]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.045,0.103,0.206,0,0.206,0,0.045)
F[49,26]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.045,0.103,0.206,0.206,0.309,0,0.045)
F[49,24]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0.103,0.206,0,0.05,0.045,0.36-0.045)
F[49,27]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0.103,0.206,0.05,0.206,0.045,0.36-0.045)
F[49,28]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0.103,0.206,0.206,0.309,0.045,0.36-0.045)
F[49,22]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0.103,0.206,0,0.206,0.36-0.045,0.36)
F[49,23]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0.103,0.206,0.206,0.309,0.36-0.045,0.36)
F[49,17]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0,0.045,0.045,0.381-0.045,0,0.045)
F[49,18]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0,0.045,0.381-0.045,0.381,0,0.045)
F[49,63]=ff_rec_pen_dis(0.381-0.045,0.381,0.103,0.206,0,0.103,0,0.045)
F[49,68]=ff_rec_pen_dis(0.381-
0.045,0.381,0.103,0.206,0.103,0.206,0,0.045)
F[49,73]=ff_rec_pen_dis(0.381-
0.045,0.381,0.103,0.206,0.206,0.309,0,0.045)
F[49,8]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0,0.045,0.045,0.381-0.045,0,0.045)
F[49,9]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0,0.045,0.381-0.045,0.381,0,0.045)

```

```

F[49,13]=1-np.sum(F[49,:])

#Izquierda 2.5 al resto

F[38,0]=(A[0]*F[0,38])/A[38]
F[38,3]=(A[3]*F[3,38])/A[38]
F[38,20]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0,0.045,0,0.045,0,0.045)
F[38,19]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0,0.045,0,0.045,0.045,0.36-0.045)
F[38,18]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0,0.045,0,0.045,0.36-0.045,0.36)
F[38,48]=ff_rec_par_dis(0.103,0.206,0,0.045,0,0.045,0,0.103,0.36)
F[38,53]=ff_rec_par_dis(0.103,0.206,0,0.045,0,0.045,0.103,0.206,0.36)
F[38,58]=ff_rec_par_dis(0.103,0.206,0,0.045,0,0.045,0.206,0.309,0.36)
F[38,11]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0,0.045,0,0.045,0,0.045)
F[38,10]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0,0.045,0,0.045,0.045,0.36-0.045)
F[38,9]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0,0.045,0,0.045,0.36-0.045,0.36)
F[38,59]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.045,0.103,0.206,0,0.103,0,0.045)
F[38,64]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.045,0.103,0.206,0.103,0.206,0,0.045)
F[38,69]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.045,0.103,0.206,0.206,0.309,0,0.045)
F[38,60]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0.103,0.206,0,0.103,0.045,0.12)
F[38,61]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0.103,0.206,0,0.103,0.12,0.12*2)
F[38,62]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0.103,0.206,0,0.103,0.12*2,0.36-0.045)
F[38,63]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0.103,0.206,0,0.103,0.36-0.045,0.36)
F[38,65]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0.103,0.206,0.103,0.206,0.045,0.12)
F[38,66]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0.103,0.206,0.103,0.206,0.12,0.12*2)
F[38,67]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0.103,0.206,0.103,0.206,0.12*2,0.36-0.045)
F[38,68]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0.103,0.206,0.103,0.206,0.36-0.045,0.36)
F[38,70]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0.103,0.206,0.206,0.309,0.045,0.12)
F[38,71]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0.103,0.206,0.206,0.309,0.12,0.12*2)
F[38,72]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0.103,0.206,0.206,0.309,0.12*2,0.36-0.045)
F[38,73]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0.103,0.206,0.206,0.309,0.36-0.045,0.36)
F[38,21]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0,0.045,0.045,0.381-0.045,0,0.045)
F[38,14]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0,0.045,0.381-0.045,0.381,0,0.045)
F[38,22]=ff_rec_pen_dis(0.381-0.045,0.381,0.103,0.206,0,0.206,0,0.045)
F[38,23]=ff_rec_pen_dis(0.381-0.045,0.381,0.103,0.206,0.206,0.309,0,0.045)
F[38,12]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0,0.045,0.045,0.381-0.045,0,0.045)
F[38,5]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0,0.045,0.381-0.045,0.381,0,0.045)
F[38,13]=1-np.sum(F[38,:])

#Derecha 2.5 al resto

F[53,2]=(A[2]*F[2,53])/A[53]
F[53,3]=(A[3]*F[3,53])/A[53]
F[53,18]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0,0.045,0,0.045,0,0.045)
F[53,19]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0,0.045,0,0.045,0.045,0.36-0.045)
F[53,20]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0,0.045,0,0.045,0.36-0.045,0.36)
F[53,33]=ff_rec_par_dis(0.103,0.206,0,0.045,0,0.045,0,0.103,0.36)
F[53,38]=ff_rec_par_dis(0.103,0.206,0,0.045,0,0.045,0.103,0.206,0.36)
F[53,43]=ff_rec_par_dis(0.103,0.206,0,0.045,0,0.045,0.206,0.309,0.36)
F[53,9]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0,0.045,0,0.045,0,0.045)
F[53,10]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0,0.045,0,0.045,0.045,0.36-0.045)
F[53,11]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0,0.045,0,0.045,0.36-0.045,0.36)
F[53,63]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.045,0.103,0.206,0,0.103,0,0.045)
F[53,68]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.045,0.103,0.206,0.103,0.206,0,0.045)
F[53,73]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.045,0.103,0.206,0.206,0.309,0,0.045)

```

```

F[53,62]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0.103,0.206,0,0.103,0.045,0.12)
F[53,61]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0.103,0.206,0,0.103,0.12,0.12*2)
F[53,60]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0.103,0.206,0,0.103,0.12*2,0.36-0.045)
F[53,59]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0.103,0.206,0,0.103,0.36-0.045,0.36)
F[53,67]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0.103,0.206,0.103,0.206,0.045,0.12)
F[53,66]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0.103,0.206,0.103,0.206,0.12,0.12*2)
F[53,65]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0.103,0.206,0.103,0.206,0.12*2,0.36-
0.045)
F[53,64]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0.103,0.206,0.103,0.206,0.36-0.045,0.36)
F[53,72]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0.103,0.206,0.206,0.309,0.045,0.12)
F[53,71]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0.103,0.206,0.206,0.309,0.12,0.12*2)
F[53,70]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0.103,0.206,0.206,0.309,0.12*2,0.36-
0.045)
F[53,69]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0.103,0.206,0.206,0.309,0.36-0.045,0.36)
F[53,17]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0,0.045,0.045,0.381-0.045,0,0.045)
F[53,16]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0,0.045,0.381-0.045,0.381,0,0.045)
F[53,25]=ff_rec_pen_dis(0.381-0.045,0.381,0.103,0.206,0,0.206,0,0.045)
F[53,26]=ff_rec_pen_dis(0.381-
0.045,0.381,0.103,0.206,0.206,0.309,0,0.045)
F[53,8]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0,0.045,0.045,0.381-0.045,0,0.045)
F[53,7]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0,0.045,0.381-0.045,0.381,0,0.045)
F[53,13]=1-np.sum(F[53,:])

#Izquierda 3.3 al resto

F[41,0]=(A[0]*F[0,41])/A[41]
F[41,21]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0.127,0.127*2,0.045,0.381-
0.045,0,0.045)
F[41,14]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0.127,0.127*2,0,0.045,0,0.045)
F[41,20]=F[41,14]
F[41,12]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0.127,0.127*2,0.045,0.381-
0.045,0,0.045)
F[41,5]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0.127,0.127*2,0,0.045,0,0.045)
F[41,11]=F[41,5]
F[41,22]=ff_rec_pen_dis(0.127,0.127*2,0.206,0.309,0,0.206,0,0.045)
F[41,23]=ff_rec_pen_dis(0.127,0.127*2,0.206,0.309,0.206,0.309,0,0.045)
F[41,69]=ff_rec_pen_dis(0.127,0.127*2,0.206,0.309,0.206,0.309,0,0.045)
F[41,59]=ff_rec_pen_dis(0.127,0.127*2,0.206,0.309,0,0.103,0,0.045)
F[41,64]=ff_rec_pen_dis(0.127,0.127*2,0.206,0.309,0.103,0.206,0,0.045)
F[41,54]=ff_rec_par_dis(0.206,0.309,0.127,0.127*2,0,0.045,0.206,0.309,0.3
6)
F[41,55]=ff_rec_par_dis(0.206,0.309,0.127,0.127*2,0.045,0.127,0.206,0.309
,0.36)
F[41,56]=ff_rec_par_dis(0.206,0.309,0.127,0.127*2,0.127,0.127*2,0.206,0.3
09,0.36)
F[41,57]=F[41,55]
F[41,58]=F[41,54]
F[41,28]=ff_rec_pen_dis(0.127,0.127*2,0.206,0.309,0.206,0.309,0.045,0.36-
0.045)
F[41,26]=ff_rec_pen_dis(0.127,0.127*2,0.206,0.309,0.206,0.309,0.36-
0.045,0.36)
F[41,70]=ff_rec_pen_dis(0.127,0.127*2,0.206,0.309,0.206,0.309,0.045,0.12)
F[41,71]=ff_rec_pen_dis(0.127,0.127*2,0.206,0.309,0.206,0.309,0.12,0.12*2
)
F[41,72]=ff_rec_pen_dis(0.127,0.127*2,0.206,0.309,0.206,0.309,0.12*2,0.36
-0.045)

```

```

F[41,73]=ff_rec_pen_dis(0.127,0.127*2,0.206,0.309,0.206,0.309,0.36-
0.045,0.36)
F[41,13]=ff_rec_pen_dis(0,0.103,0.127,0.127*2,0.045,0.381-
0.045,0.045,0.045+0.27)
F[41,10]=ff_rec_pen_dis(0,0.103,0.127,0.127*2,0,0.045,0.045,0.045+0.27)
F[41,6]=F[41,10]
F[41,9]=ff_rec_pen_dis(0,0.103,0.127,0.127*2,0,0.045,0.045+0.27,0.36)
F[41,7]=F[41,9]
F[41,8]=ff_rec_pen_dis(0,0.103,0.127,0.127*2,0.045,0.381-
0.045,0.045+0.27,0.36)
F[41,4]=1-np.sum(F[41,:])

#Derecha 3.3 al resto

F[56,2]=(A[2]*F[2,56])/A[56]
F[56,17]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0.127,0.127*2,0.045,0.381-
0.045,0,0.045)
F[56,16]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0.127,0.127*2,0,0.045,0,0.045)
F[56,18]=F[41,14]
F[56,8]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0.127,0.127*2,0.045,0.381-
0.045,0,0.045)
F[56,7]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0.127,0.127*2,0,0.045,0,0.045)
F[56,9]=F[41,5]
F[56,25]=ff_rec_pen_dis(0.127,0.127*2,0.206,0.309,0,0.206,0,0.045)
F[56,26]=ff_rec_pen_dis(0.127,0.127*2,0.206,0.309,0.206,0.309,0,0.045)
F[56,73]=ff_rec_pen_dis(0.127,0.127*2,0.206,0.309,0.206,0.309,0,0.045)
F[56,63]=ff_rec_pen_dis(0.127,0.127*2,0.206,0.309,0,0.103,0,0.045)
F[56,68]=ff_rec_pen_dis(0.127,0.127*2,0.206,0.309,0.103,0.206,0,0.045)
F[56,39]=ff_rec_par_dis(0.206,0.309,0.127,0.127*2,0,0.045,0.206,0.309,0.3
6)
F[56,40]=ff_rec_par_dis(0.206,0.309,0.127,0.127*2,0.045,0.127,0.206,0.309
,0.36)
F[56,41]=ff_rec_par_dis(0.206,0.309,0.127,0.127*2,0.127,0.127*2,0.206,0.3
09,0.36)
F[56,42]=F[41,55]
F[56,43]=F[41,54]
F[56,28]=ff_rec_pen_dis(0.127,0.127*2,0.206,0.309,0.206,0.309,0.045,0.36-
0.045)
F[56,23]=ff_rec_pen_dis(0.127,0.127*2,0.206,0.309,0.206,0.309,0.36-
0.045,0.36)
F[56,72]=ff_rec_pen_dis(0.127,0.127*2,0.206,0.309,0.206,0.309,0.045,0.12)
F[56,71]=ff_rec_pen_dis(0.127,0.127*2,0.206,0.309,0.206,0.309,0.12,0.12*2
)
F[56,70]=ff_rec_pen_dis(0.127,0.127*2,0.206,0.309,0.206,0.309,0.12*2,0.36
-0.045)
F[56,69]=ff_rec_pen_dis(0.127,0.127*2,0.206,0.309,0.206,0.309,0.36-
0.045,0.36)
F[56,13]=ff_rec_pen_dis(0,0.103,0.127,0.127*2,0.045,0.381-
0.045,0.045,0.045+0.27)
F[56,10]=ff_rec_pen_dis(0,0.103,0.127,0.127*2,0,0.045,0.045,0.045+0.27)
F[56,6]=F[41,10]
F[56,11]=ff_rec_pen_dis(0,0.103,0.127,0.127*2,0,0.045,0.045+0.27,0.36)
F[56,5]=F[41,9]
F[56,12]=ff_rec_pen_dis(0,0.103,0.127,0.127*2,0.045,0.381-
0.045,0.045+0.27,0.36)

```

```

F[56,4]=1-np.sum(F[56,:])

#Izquierda 3.4 al resto

F[42,0]=(A[0]*F[0,42])/A[42]

F[42,20]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0.045,0.127,0,0.045,0,0.045)
F[42,21]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0.045,0.127,0.045,0.381-
0.045,0,0.045)
F[42,14]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0.045,0.127,0.381-
0.045,0.381,0,0.045)
F[42,11]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0.045,0.127,0,0.045,0,0.045)
F[42,12]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0.045,0.127,0.045,0.381-
0.045,0,0.045)
F[42,5]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0.045,0.127,0.381-
0.045,0.381,0,0.045)
F[42,59]=ff_rec_pen_dis(0.045,0.127,0.206,0.309,0,0.103,0,0.045) #
F[42,64]=ff_rec_pen_dis(0.045,0.127,0.206,0.309,0.103,0.206,0,0.045)
F[42,69]=ff_rec_pen_dis(0.045,0.127,0.206,0.309,0.206,0.309,0,0.045)#
F[42,22]=ff_rec_pen_dis(0.127*2,0.381-0.045,0.206,0.309,0,0.206,0,0.045)
F[42,23]=ff_rec_pen_dis(0.127*2,0.381-
0.045,0.206,0.309,0.206,0.309,0,0.045)
F[42,54]=ff_rec_par_dis(0.206,0.309,0.127*2,0.381-
0.045,0,0.045,0.206,0.309,0.36)
F[42,55]=ff_rec_par_dis(0.206,0.309,0.127*2,0.381-
0.045,0.045,0.127,0.206,0.309,0.36)
F[42,56]=ff_rec_par_dis(0.206,0.309,0.127*2,0.381-
0.045,0.127,0.127*2,0.206,0.309,0.36)
F[42,57]=ff_rec_par_dis(0.206,0.309,0.127*2,0.381-0.045,0.127*2,0.381-
0.045,0.206,0.309,0.36)
F[42,58]=ff_rec_par_dis(0.206,0.309,0.127*2,0.381-0.045,0.381-
0.045,0.381,0.206,0.309,0.36)
F[42,28]=ff_rec_pen_dis(0.127*2,0.381-
0.045,0.206,0.309,0.206,0.309,0.045,0.36-0.045)
F[42,26]=ff_rec_pen_dis(0.127*2,0.381-0.045,0.206,0.309,0.206,0.309,0.36-
0.045,0.36)
F[42,70]=ff_rec_pen_dis(0.045,0.127,0.206,0.309,0.206,0.309,0.045,0.12)
F[42,71]=ff_rec_pen_dis(0.045,0.127,0.206,0.309,0.206,0.309,0.12,0.12*2)
F[42,72]=ff_rec_pen_dis(0.045,0.127,0.206,0.309,0.206,0.309,0.12*2,0.36-
0.045)
F[42,73]=ff_rec_pen_dis(0.045,0.127,0.206,0.309,0.206,0.309,0.36-
0.045,0.36)
F[42,13]=ff_rec_pen_dis(0,0.103,0.045,0.127,0.045,0.381-
0.045,0.045,0.045+0.27)
F[42,10]=ff_rec_pen_dis(0,0.103,0.045,0.127,0,0.045,0.045,0.045+0.27)
F[42,6]=ff_rec_pen_dis(0,0.103,0.045,0.127,0.381-
0.045,0.381,0.045,0.045+0.27)
F[42,9]=ff_rec_pen_dis(0,0.103,0.045,0.127,0,0.045,0.045+0.27,0.36)
F[42,7]=ff_rec_pen_dis(0,0.103,0.045,0.127,0.381-
0.045,0.381,0.27+0.045,0.36)
F[42,8]=ff_rec_pen_dis(0,0.103,0.045,0.127,0.045,0.381-
0.045,0.045+0.27,0.36)
F[42,4]=1-np.sum(F[42,:])

#Derecha 3.4 al resto

```

```

F[57,2]=(A[2]*F[2,57])/A[57]

F[57,18]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0.045,0.127,0,0.045,0,0.045)
F[57,17]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0.045,0.127,0.045,0.381-
0.045,0,0.045)
F[57,16]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0.045,0.127,0.381-
0.045,0.381,0,0.045)
F[57,9]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0.045,0.127,0,0.045,0,0.045)
F[57,8]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0.045,0.127,0.045,0.381-
0.045,0,0.045)
F[57,7]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0.045,0.127,0.381-
0.045,0.381,0,0.045)
F[57,63]=ff_rec_pen_dis(0.045,0.127,0.206,0.309,0,0.103,0,0.045) #
F[57,68]=ff_rec_pen_dis(0.045,0.127,0.206,0.309,0.103,0.206,0,0.045)
F[57,73]=ff_rec_pen_dis(0.045,0.127,0.206,0.309,0.206,0.309,0,0.045) #
F[57,25]=ff_rec_pen_dis(0.127*2,0.381-0.045,0.206,0.309,0,0.206,0,0.045)
F[57,26]=ff_rec_pen_dis(0.127*2,0.381-
0.045,0.206,0.309,0.206,0.309,0,0.045)
F[57,39]=ff_rec_par_dis(0.206,0.309,0.127*2,0.381-
0.045,0,0.045,0.206,0.309,0.36)
F[57,40]=ff_rec_par_dis(0.206,0.309,0.127*2,0.381-
0.045,0.045,0.127,0.206,0.309,0.36)
F[57,41]=ff_rec_par_dis(0.206,0.309,0.127*2,0.381-
0.045,0.127,0.127*2,0.206,0.309,0.36)
F[57,42]=ff_rec_par_dis(0.206,0.309,0.127*2,0.381-0.045,0.127*2,0.381-
0.045,0.206,0.309,0.36)
F[57,43]=ff_rec_par_dis(0.206,0.309,0.127*2,0.381-0.045,0.381-
0.045,0.381,0.206,0.309,0.36)
F[57,28]=ff_rec_pen_dis(0.127*2,0.381-
0.045,0.206,0.309,0.206,0.309,0.045,0.36-0.045)
F[57,23]=ff_rec_pen_dis(0.127*2,0.381-0.045,0.206,0.309,0.206,0.309,0.36-
0.045,0.36)
F[57,72]=ff_rec_pen_dis(0.045,0.127,0.206,0.309,0.206,0.309,0.045,0.12)
F[57,71]=ff_rec_pen_dis(0.045,0.127,0.206,0.309,0.206,0.309,0.12,0.12*2)
F[57,70]=ff_rec_pen_dis(0.045,0.127,0.206,0.309,0.206,0.309,0.12*2,0.36-
0.045)
F[57,69]=ff_rec_pen_dis(0.045,0.127,0.206,0.309,0.206,0.309,0.36-
0.045,0.36)
F[57,13]=ff_rec_pen_dis(0,0.103,0.045,0.127,0.045,0.381-
0.045,0.045,0.045+0.27)
F[57,10]=ff_rec_pen_dis(0,0.103,0.045,0.127,0,0.045,0.045,0.045+0.27)
F[57,6]=ff_rec_pen_dis(0,0.103,0.045,0.127,0.381-
0.045,0.381,0.045,0.045+0.27)
F[57,11]=ff_rec_pen_dis(0,0.103,0.045,0.127,0,0.045,0.045+0.27,0.36)
F[57,5]=ff_rec_pen_dis(0,0.103,0.045,0.127,0.381-
0.045,0.381,0.27+0.045,0.36)
F[57,12]=ff_rec_pen_dis(0,0.103,0.045,0.127,0.045,0.381-
0.045,0.045+0.27,0.36)
F[57,4]=1-np.sum(F[57,:])

#Izquierda 3.2 al resto

F[40,0]=(A[0]*F[0,40])/A[40]

F[40,14]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0.045,0.127,0,0.045,0,0.045)

```

```

F[40,21]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0.045,0.127,0.045,0.381-
0.045,0,0.045)
F[40,20]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0.045,0.127,0.381-
0.045,0.381,0,0.045)
F[40,5]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0.045,0.127,0,0.045,0,0.045)
F[40,12]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0.045,0.127,0.045,0.381-
0.045,0,0.045)
F[40,11]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0.045,0.127,0.381-
0.045,0.381,0,0.045)
F[40,22]=ff_rec_pen_dis(0.045,0.127,0.206,0.309,0,0.206,0,0.045)
F[40,23]=ff_rec_pen_dis(0.045,0.127,0.206,0.309,0.206,0.309,0,0.045)
F[40,59]=ff_rec_pen_dis(0.127*2,0.381-0.045,0.206,0.309,0,0.103,0,0.045)
F[40,64]=ff_rec_pen_dis(0.127*2,0.381-
0.045,0.206,0.309,0.103,0.206,0,0.045)
F[40,69]=ff_rec_pen_dis(0.127*2,0.381-
0.045,0.206,0.309,0.206,0.309,0,0.045)
F[40,54]=ff_rec_par_dis(0.206,0.309,0.045,0.127,0,0.045,0.206,0.309,0.36)
F[40,55]=ff_rec_par_dis(0.206,0.309,0.045,0.127,0.045,0.127,0.206,0.309,0
.36)
F[40,56]=ff_rec_par_dis(0.206,0.309,0.045,0.127,0.127,0.127*2,0.206,0.309
,0.36)
F[40,57]=ff_rec_par_dis(0.206,0.309,0.045,0.127,0.127*2,0.381-
0.045,0.206,0.309,0.36)
F[40,58]=ff_rec_par_dis(0.206,0.309,0.045,0.127,0.381-
0.045,0.381,0.206,0.309,0.36)
F[40,28]=ff_rec_pen_dis(0.045,0.127,0.206,0.309,0.206,0.309,0.045,0.36-
0.045)
F[40,26]=ff_rec_pen_dis(0.045,0.127,0.206,0.309,0.206,0.309,0.36-
0.045,0.36)
F[40,70]=ff_rec_pen_dis(0.127*2,0.381-
0.045,0.206,0.309,0.206,0.309,0.045,0.12)
F[40,71]=ff_rec_pen_dis(0.127*2,0.381-
0.045,0.206,0.309,0.206,0.309,0.12,0.12*2)
F[40,72]=ff_rec_pen_dis(0.127*2,0.381-
0.045,0.206,0.309,0.206,0.309,0.12*2,0.36-0.045)
F[40,73]=ff_rec_pen_dis(0.127*2,0.381-0.045,0.206,0.309,0.206,0.309,0.36-
0.045,0.36)
F[40,13]=ff_rec_pen_dis(0,0.103,0.045,0.127,0.045,0.381-
0.045,0.045,0.045+0.27)
F[40,6]=ff_rec_pen_dis(0,0.103,0.045,0.127,0,0.045,0.045,0.045+0.27)
F[40,10]=ff_rec_pen_dis(0,0.103,0.045,0.127,0.381-
0.045,0.381,0.045,0.045+0.27)
F[40,7]=ff_rec_pen_dis(0,0.103,0.045,0.127,0,0.045,0.045+0.27,0.36)
F[40,9]=ff_rec_pen_dis(0,0.103,0.045,0.127,0.381-
0.045,0.381,0.27+0.045,0.36)
F[40,8]=ff_rec_pen_dis(0,0.103,0.045,0.127,0.045,0.381-
0.045,0.045+0.27,0.36)
F[40,4]=1-np.sum(F[40,:])

```

#Derecha 3.2 al resto

```

F[55,2]=(A[2]*F[2,55])/A[55]
F[55,16]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0.045,0.127,0,0.045,0,0.045)
F[55,17]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0.045,0.127,0.045,0.381-
0.045,0,0.045)
F[55,18]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0.045,0.127,0.381-
0.045,0.381,0,0.045)

```

```

F[55,7]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0.045,0.127,0,0.045,0,0.045)
F[55,8]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0.045,0.127,0.045,0.381-
0.045,0,0.045)
F[55,9]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0.045,0.127,0.381-
0.045,0.381,0,0.045)
F[55,25]=ff_rec_pen_dis(0.045,0.127,0.206,0.309,0,0.206,0,0.045)
F[55,26]=ff_rec_pen_dis(0.045,0.127,0.206,0.309,0.206,0.309,0,0.045)
F[55,63]=ff_rec_pen_dis(0.127*2,0.381-0.045,0.206,0.309,0,0.103,0,0.045)
F[55,68]=ff_rec_pen_dis(0.127*2,0.381-
0.045,0.206,0.309,0.103,0.206,0,0.045)
F[55,73]=ff_rec_pen_dis(0.127*2,0.381-
0.045,0.206,0.309,0.206,0.309,0,0.045)
F[55,39]=ff_rec_par_dis(0.206,0.309,0.045,0.127,0,0.045,0.206,0.309,0.36)
F[55,40]=ff_rec_par_dis(0.206,0.309,0.045,0.127,0.045,0.127,0.206,0.309,0
.36)
F[55,41]=ff_rec_par_dis(0.206,0.309,0.045,0.127,0.127,0.127*2,0.206,0.309
,0.36)
F[55,42]=ff_rec_par_dis(0.206,0.309,0.045,0.127,0.127*2,0.381-
0.045,0.206,0.309,0.36)
F[55,43]=ff_rec_par_dis(0.206,0.309,0.045,0.127,0.381-
0.045,0.381,0.206,0.309,0.36)
F[55,28]=ff_rec_pen_dis(0.045,0.127,0.206,0.309,0.206,0.309,0.045,0.36-
0.045)
F[55,23]=ff_rec_pen_dis(0.045,0.127,0.206,0.309,0.206,0.309,0.36-
0.045,0.36)
F[55,72]=ff_rec_pen_dis(0.127*2,0.381-
0.045,0.206,0.309,0.206,0.309,0.045,0.12)
F[55,71]=ff_rec_pen_dis(0.127*2,0.381-
0.045,0.206,0.309,0.206,0.309,0.12,0.12*2)
F[55,70]=ff_rec_pen_dis(0.127*2,0.381-
0.045,0.206,0.309,0.206,0.309,0.12*2,0.36-0.045)
F[55,69]=ff_rec_pen_dis(0.127*2,0.381-0.045,0.206,0.309,0.206,0.309,0.36-
0.045,0.36)
F[55,13]=ff_rec_pen_dis(0,0.103,0.045,0.127,0.045,0.381-
0.045,0.045,0.045+0.27)
F[55,6]=ff_rec_pen_dis(0,0.103,0.045,0.127,0,0.045,0.045,0.045+0.27)
F[55,10]=ff_rec_pen_dis(0,0.103,0.045,0.127,0.381-
0.045,0.381,0.045,0.045+0.27)
F[55,5]=ff_rec_pen_dis(0,0.103,0.045,0.127,0,0.045,0.045+0.27,0.36)
F[55,11]=ff_rec_pen_dis(0,0.103,0.045,0.127,0.381-
0.045,0.381,0.27+0.045,0.36)
F[55,12]=ff_rec_pen_dis(0,0.103,0.045,0.127,0.045,0.381-
0.045,0.045+0.27,0.36)
F[55,4]=1-np.sum(F[55,:])

```

#Izquierda 3.1 al resto

```

F[39,0]=(A[0]*F[0,39])/A[39]
F[39,1]=(A[1]*F[1,39])/A[39]

F[39,14]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0,0.045,0,0.045,0,0.045)
F[39,15]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0,0.045,0,0.045,0.045,0.36-0.045)
F[39,16]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0,0.045,0,0.045,0.36-0.045,0.36)
F[39,44]=ff_rec_par_dis(0.206,0.309,0,0.045,0,0.045,0,0.103,0.36)
F[39,49]=ff_rec_par_dis(0.206,0.309,0,0.045,0,0.045,0.103,0.206,0.36)
F[39,54]=ff_rec_par_dis(0.206,0.309,0,0.045,0,0.045,0.206,0.309,0.36)

```

```

F[39,5]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0,0.045,0,0.045,0,0.045)
F[39,6]=ff_rec_pen_dis(0,0.103,0,0.045,0,0.045,0.045,0.36-0.045)
F[39,7]=ff_rec_pen_dis(0,0.103,0,0.045,0,0.045,0.36-0.045,0.36)
F[39,22]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.045,0.206,0.309,0,0.206,0,0.045)
F[39,23]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.045,0.206,0.309,0.206,0.309,0,0.045)
F[39,24]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0.206,0.309,0,0.05,0.045,0.36-0.045)
F[39,27]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0.206,0.309,0.05,0.206,0.045,0.36-0.045)
F[39,28]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0.206,0.309,0.206,0.309,0.045,0.36-0.045)
F[39,25]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0.206,0.309,0,0.206,0.36-0.045,0.36)
F[39,26]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0.206,0.309,0.206,0.309,0.36-0.045,0.36)
F[39,21]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0,0.045,0.045,0.381-0.045,0,0.045)
F[39,20]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0,0.045,0.381-0.045,0.381,0,0.045)
F[39,59]=ff_rec_pen_dis(0.381-0.045,0.381,0.206,0.309,0,0.103,0,0.045)
F[39,64]=ff_rec_pen_dis(0.381-
0.045,0.381,0.206,0.309,0.103,0.206,0,0.045)
F[39,69]=ff_rec_pen_dis(0.381-
0.045,0.381,0.206,0.309,0.206,0.309,0,0.045)
F[39,12]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0,0.045,0.045,0.381-0.045,0,0.045)
F[39,11]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0,0.045,0.381-0.045,0.381,0,0.045)
F[39,55]=ff_rec_par_dis(0.206,0.309,0,0.045,0.045,0.127,0.206,0.309,0.36)
F[39,56]=ff_rec_par_dis(0.206,0.309,0,0.045,0.127,0.127*2,0.206,0.309,0.3
6)
F[39,57]=ff_rec_par_dis(0.206,0.309,0,0.045,0.127*2,0.381-
0.045,0.206,0.309,0.36)
F[39,58]=ff_rec_par_dis(0.206,0.309,0,0.045,0.381-
0.045,0.381,0.206,0.309,0.36)
F[39,70]=ff_rec_pen_dis(0.381-
0.045,0.381,0.206,0.309,0.206,0.309,0.045,0.12)
F[39,71]=ff_rec_pen_dis(0.381-
0.045,0.381,0.206,0.309,0.206,0.309,0.12,0.12*2)
F[39,72]=ff_rec_pen_dis(0.381-
0.045,0.381,0.206,0.309,0.206,0.309,0.12*2,0.36-0.045)
F[39,73]=ff_rec_pen_dis(0.381-0.045,0.381,0.206,0.309,0.206,0.309,0.36-
0.045,0.36)
F[39,13]=ff_rec_pen_dis(0,0.103,0,0.045,0.045,0.381-
0.045,0.045,0.045+0.27)
F[39,10]=ff_rec_pen_dis(0,0.103,0,0.045,0.381-
0.045,0.381,0.045,0.045+0.27)
F[39,9]=ff_rec_pen_dis(0,0.103,0,0.045,0.381-0.045,0.381,0.27+0.045,0.36)
F[39,8]=ff_rec_pen_dis(0,0.103,0,0.045,0.045,0.381-0.045,0.045+0.27,0.36)
F[39,4]=1-np.sum(F[39,:])

```

#Derecha 3.1 al resto

```

F[54,2]=(A[2]*F[2,54])/A[54]
F[54,1]=(A[1]*F[1,54])/A[54]

```

```

F[54,16]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0,0.045,0,0.045,0,0.045)
F[54,15]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0,0.045,0,0.045,0.045,0.36-0.045)
F[54,14]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0,0.045,0,0.045,0.36-0.045,0.36)
F[54,29]=ff_rec_par_dis(0.206,0.309,0,0.045,0,0.045,0,0.103,0.36)
F[54,34]=ff_rec_par_dis(0.206,0.309,0,0.045,0,0.045,0.103,0.206,0.36)
F[54,39]=ff_rec_par_dis(0.206,0.309,0,0.045,0,0.045,0.206,0.309,0.36)
F[54,7]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0,0.045,0,0.045,0,0.045)
F[54,6]=ff_rec_pen_dis(0,0.103,0,0.045,0,0.045,0.045,0.36-0.045)
F[54,5]=ff_rec_pen_dis(0,0.103,0,0.045,0,0.045,0.36-0.045,0.36)
F[54,25]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.045,0.206,0.309,0,0.206,0,0.045)

```

```

F[54,26]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.045,0.206,0.309,0.206,0.309,0,0.045)
F[54,24]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0.206,0.309,0,0.05,0.045,0.36-0.045)
F[54,27]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0.206,0.309,0.05,0.206,0.045,0.36-0.045)
F[54,28]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0.206,0.309,0.206,0.309,0.045,0.36-0.045)
F[54,22]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0.206,0.309,0,0.206,0.36-0.045,0.36)
F[54,23]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0.206,0.309,0.206,0.309,0.36-0.045,0.36)
F[54,17]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0,0.045,0.045,0.381-0.045,0,0.045)
F[54,18]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0,0.045,0.381-0.045,0.381,0,0.045)
F[54,63]=ff_rec_pen_dis(0.381-0.045,0.381,0.206,0.309,0,0.103,0,0.045)
F[54,68]=ff_rec_pen_dis(0.381-
0.045,0.381,0.206,0.309,0.103,0.206,0,0.045)
F[54,73]=ff_rec_pen_dis(0.381-
0.045,0.381,0.206,0.309,0.206,0.309,0,0.045)
F[54,8]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0,0.045,0.045,0.381-0.045,0,0.045)
F[54,9]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0,0.045,0.381-0.045,0.381,0,0.045)
F[54,40]=ff_rec_par_dis(0.206,0.309,0,0.045,0.045,0.127,0.206,0.309,0.36)
F[54,41]=ff_rec_par_dis(0.206,0.309,0,0.045,0.127,0.127*2,0.206,0.309,0.3
6)
F[54,42]=ff_rec_par_dis(0.206,0.309,0,0.045,0.127*2,0.381-
0.045,0.206,0.309,0.36)
F[54,43]=ff_rec_par_dis(0.206,0.309,0,0.045,0.381-
0.045,0.381,0.206,0.309,0.36)
F[54,72]=ff_rec_pen_dis(0.381-
0.045,0.381,0.206,0.309,0.206,0.309,0.045,0.12)
F[54,71]=ff_rec_pen_dis(0.381-
0.045,0.381,0.206,0.309,0.206,0.309,0.12,0.12*2)
F[54,70]=ff_rec_pen_dis(0.381-
0.045,0.381,0.206,0.309,0.206,0.309,0.12*2,0.36-0.045)
F[54,69]=ff_rec_pen_dis(0.381-0.045,0.381,0.206,0.309,0.206,0.309,0.36-
0.045,0.36)
F[54,13]=ff_rec_pen_dis(0,0.103,0,0.045,0.045,0.381-
0.045,0.045,0.045+0.27)
F[54,10]=ff_rec_pen_dis(0,0.103,0,0.045,0.381-
0.045,0.381,0.045,0.045+0.27)
F[54,11]=ff_rec_pen_dis(0,0.103,0,0.045,0.381-
0.045,0.381,0.27+0.045,0.36)
F[54,12]=ff_rec_pen_dis(0,0.103,0,0.045,0.045,0.381-
0.045,0.045+0.27,0.36)
F[54,4]=1-np.sum(F[54,:])

```

#Izquierda 3.5 al resto

```

F[43,0]=(A[0]*F[0,43])/A[43]
F[43,3]=(A[3]*F[3,43])/A[43]
F[43,20]=F[39,14]
F[43,19]=F[39,15]
F[43,18]=F[39,16]
F[43,48]=F[39,44]
F[43,53]=F[39,49]
F[43,58]=F[39,54]
F[43,11]=F[39,5]
F[43,10]=F[39,6]
F[43,9]=F[39,7]
F[43,59]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.045,0.206,0.309,0,0.103,0,0.045)
F[43,64]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.045,0.206,0.309,0.103,0.206,0,0.045)
F[43,69]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.045,0.206,0.309,0.206,0.309,0,0.045)
F[43,60]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0.206,0.309,0,0.103,0.045,0.12)

```

```

F[43,61]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0.206,0.309,0,0.103,0.12,0.12*2)
F[43,62]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0.206,0.309,0,0.103,0.12*2,0.36-0.045)
F[43,63]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0.206,0.309,0,0.103,0.36-0.045,0.36)
F[43,65]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0.206,0.309,0.103,0.206,0.045,0.12)
F[43,66]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0.206,0.309,0.103,0.206,0.12,0.12*2)
F[43,67]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0.206,0.309,0.103,0.206,0.12*2,0.36-
0.045)
F[43,68]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0.206,0.309,0.103,0.206,0.36-0.045,0.36)
F[43,70]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0.206,0.309,0.206,0.309,0.045,0.12)
F[43,71]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0.206,0.309,0.206,0.309,0.12,0.12*2)
F[43,72]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0.206,0.309,0.206,0.309,0.12*2,0.36-
0.045)
F[43,73]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0.206,0.309,0.206,0.309,0.36-0.045,0.36)
F[43,21]=F[39,21]
F[43,14]=F[39,20]
F[43,22]=ff_rec_pen_dis(0.381-0.045,0.381,0.206,0.309,0,0.206,0,0.045)
F[43,23]=ff_rec_pen_dis(0.381-
0.045,0.381,0.206,0.309,0.206,0.309,0,0.045)
F[43,12]=F[39,12]
F[43,5]=F[39,11]
F[43,57]=ff_rec_par_dis(0.206,0.309,0,0.045,0.045,0.127,0.206,0.309,0.36)
F[43,56]=ff_rec_par_dis(0.206,0.309,0,0.045,0.127,0.127*2,0.206,0.309,0.3
6)
F[43,55]=ff_rec_par_dis(0.206,0.309,0,0.045,0.127*2,0.381-
0.045,0.206,0.309,0.36)
F[43,54]=ff_rec_par_dis(0.206,0.309,0,0.045,0.381-
0.045,0.381,0.206,0.309,0.36)
F[43,28]=ff_rec_pen_dis(0.381-
0.045,0.381,0.206,0.309,0.206,0.309,0.045,0.36-0.045)
F[43,26]=ff_rec_pen_dis(0.381-0.045,0.381,0.206,0.309,0.206,0.309,0.36-
0.045,0.36)
F[43,13]=ff_rec_pen_dis(0,0.103,0,0.045,0.045,0.381-
0.045,0.045,0.045+0.27)
F[43,8]=F[39,8]
F[43,7]=F[39,9]
F[43,6]=F[39,10]
F[43,4]=1-np.sum(F[43,:])

```

#Derecha 3.5 al resto

```

F[58,2]=(A[2]*F[2,58])/A[58]
F[58,3]=(A[3]*F[3,58])/A[58]
F[58,18]=F[39,14]
F[58,19]=F[39,15]
F[58,20]=F[39,16]
F[58,33]=F[39,44]
F[58,38]=F[39,49]
F[58,43]=F[39,54]
F[58,9]=F[39,5]
F[58,10]=F[39,6]
F[58,11]=F[39,7]
F[58,63]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.045,0.206,0.309,0,0.103,0,0.045)
F[58,68]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.045,0.206,0.309,0.103,0.206,0,0.045)
F[58,73]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.045,0.206,0.309,0.206,0.309,0,0.045)
F[58,62]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0.206,0.309,0,0.103,0.045,0.12)
F[58,61]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0.206,0.309,0,0.103,0.12,0.12*2)
F[58,60]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0.206,0.309,0,0.103,0.12*2,0.36-0.045)

```

```

F[58,59]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0.206,0.309,0,0.103,0.36-0.045,0.36)
F[58,67]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0.206,0.309,0.103,0.206,0.045,0.12)
F[58,66]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0.206,0.309,0.103,0.206,0.12,0.12*2)
F[58,65]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0.206,0.309,0.103,0.206,0.12*2,0.36-
0.045)
F[58,64]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0.206,0.309,0.103,0.206,0.36-0.045,0.36)
F[58,72]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0.206,0.309,0.206,0.309,0.045,0.12)
F[58,71]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0.206,0.309,0.206,0.309,0.12,0.12*2)
F[58,70]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0.206,0.309,0.206,0.309,0.12*2,0.36-
0.045)
F[58,69]=ff_rec_pen_dis(0,0.045,0.206,0.309,0.206,0.309,0.36-0.045,0.36)
F[58,17]=F[39,21]
F[58,16]=F[39,20]
F[58,25]=ff_rec_pen_dis(0.381-0.045,0.381,0.206,0.309,0,0.206,0,0.045)
F[58,26]=ff_rec_pen_dis(0.381-
0.045,0.381,0.206,0.309,0.206,0.309,0,0.045)
F[58,8]=F[39,12]
F[58,7]=F[39,11]
F[58,42]=ff_rec_par_dis(0.206,0.309,0,0.045,0.045,0.127,0.206,0.309,0.36)
F[58,41]=ff_rec_par_dis(0.206,0.309,0,0.045,0.127,0.127*2,0.206,0.309,0.3
6)
F[58,40]=ff_rec_par_dis(0.206,0.309,0,0.045,0.127*2,0.381-
0.045,0.206,0.309,0.36)
F[58,39]=ff_rec_par_dis(0.206,0.309,0,0.045,0.381-
0.045,0.381,0.206,0.309,0.36)
F[58,28]=ff_rec_pen_dis(0.381-
0.045,0.381,0.206,0.309,0.206,0.309,0.045,0.36-0.045)
F[58,23]=ff_rec_pen_dis(0.381-0.045,0.381,0.206,0.309,0.206,0.309,0.36-
0.045,0.36)
F[58,13]=ff_rec_pen_dis(0,0.103,0,0.045,0.045,0.381-
0.045,0.045,0.045+0.27)
F[58,12]=F[39,8]
F[58,5]=F[39,9]
F[58,6]=F[39,10]
F[58,4]=1-np.sum(F[58,:])

```

#Espalda 1.1 al resto

```

F[59,0]=(A[0]*F[0,59])/A[59]
F[59,3]=(A[3]*F[3,59])/A[59]
F[59,29]=(A[29]*F[29,59])/A[59]
F[59,30]=(A[30]*F[30,59])/A[59]
F[59,31]=(A[31]*F[31,59])/A[59]
F[59,32]=(A[32]*F[32,59])/A[59]
F[59,33]=(A[33]*F[33,59])/A[59]
F[59,34]=(A[34]*F[34,59])/A[59]
F[59,35]=(A[35]*F[35,59])/A[59]
F[59,36]=(A[36]*F[36,59])/A[59]
F[59,37]=(A[37]*F[37,59])/A[59]
F[59,38]=(A[38]*F[38,59])/A[59]
F[59,39]=(A[39]*F[39,59])/A[59]
F[59,40]=(A[40]*F[40,59])/A[59]
F[59,41]=(A[41]*F[41,59])/A[59]
F[59,42]=(A[42]*F[42,59])/A[59]
F[59,43]=(A[43]*F[43,59])/A[59]
F[59,20]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0,0.045,0,0.045,0,0.045)
F[59,21]=ff_rec_pen_dis(0,0.103,0,0.045,0,0.045,0.045,0.381-0.045)

```

```

F[59,14]=ff_rec_pen_dis(0,0.103,0,0.045,0,0.045,0.381-0.045,0.381)
F[59,11]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0,0.045,0,0.045,0,0.045)
F[59,12]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0,0.045,0,0.045,0.045,0.381-0.045)
F[59,5]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0,0.045,0,0.045,0.381-0.045,0.381)
F[59,22]=ff_rec_par_dis(0,0.103,0,0.045,0,0.045,0,0.206,0.381)
F[59,23]=ff_rec_par_dis(0,0.103,0,0.045,0,0.045,0.206,0.309,0.381)
F[59,48]=(A[48]*F[48,59])/A[59]
F[59,53]=(A[53]*F[53,59])/A[59]
F[59,58]=(A[58]*F[58,59])/A[59]
F[59,19]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0,0.045,0.045,0.36-0.045,0,0.045)
F[59,18]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0,0.045,0.36-0.045,0.36,0,0.045)
F[59,10]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0,0.045,0.045,0.36-0.045,0,0.045)
F[59,9]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0,0.045,0.36-0.045,0.36,0,0.045)
F[59,13]=1-np.sum(F[59,:])

```

#Espalda 2.1 al resto

```

F[64,0]=(A[0]*F[0,64])/A[64]
F[64,3]=(A[3]*F[3,64])/A[64]
F[64,29]=(A[29]*F[29,64])/A[64]
F[64,30]=(A[30]*F[30,64])/A[64]
F[64,31]=(A[31]*F[31,64])/A[64]
F[64,32]=(A[32]*F[32,64])/A[64]
F[64,33]=(A[33]*F[33,64])/A[64]
F[64,34]=(A[34]*F[34,64])/A[64]
F[64,35]=(A[35]*F[35,64])/A[64]
F[64,36]=(A[36]*F[36,64])/A[64]
F[64,37]=(A[37]*F[37,64])/A[64]
F[64,38]=(A[38]*F[38,64])/A[64]
F[64,39]=(A[39]*F[39,64])/A[64]
F[64,40]=(A[40]*F[40,64])/A[64]
F[64,41]=(A[41]*F[41,64])/A[64]
F[64,42]=(A[42]*F[42,64])/A[64]
F[64,43]=(A[43]*F[43,64])/A[64]
F[64,20]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0,0.045,0,0.045,0,0.045)
F[64,21]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0,0.045,0,0.045,0.045,0.381-0.045)
F[64,14]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0,0.045,0,0.045,0.381-0.045,0.381)
F[64,11]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0,0.045,0,0.045,0,0.045)
F[64,12]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0,0.045,0,0.045,0.045,0.381-0.045)
F[64,5]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0,0.045,0,0.045,0.381-0.045,0.381)
F[64,22]=ff_rec_par_dis(0.103,0.206,0,0.045,0,0.045,0,0.206,0.381)
F[64,23]=ff_rec_par_dis(0.103,0.206,0,0.045,0,0.045,0.206,0.309,0.381)
F[64,48]=(A[48]*F[48,64])/A[64]
F[64,53]=(A[53]*F[53,64])/A[64]
F[64,58]=(A[58]*F[58,64])/A[64]
F[64,19]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0,0.045,0.045,0.36-0.045,0,0.045)
F[64,18]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0,0.045,0.36-0.045,0.36,0,0.045)
F[64,10]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0,0.045,0.045,0.36-0.045,0,0.045)
F[64,9]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0,0.045,0.36-0.045,0.36,0,0.045)
F[64,13]=1-np.sum(F[64,:])

```

#Espalda 1.5 al resto

```

F[63,2]=(A[2]*F[2,63])/A[63]
F[63,3]=(A[3]*F[3,63])/A[63]
F[63,44]=(A[44]*F[44,63])/A[63]
F[63,45]=(A[45]*F[45,63])/A[63]

```

```

F[63,46]=(A[46]*F[46,63])/A[63]
F[63,47]=(A[47]*F[47,63])/A[63]
F[63,48]=(A[48]*F[48,63])/A[63]
F[63,49]=(A[49]*F[49,63])/A[63]
F[63,50]=(A[50]*F[50,63])/A[63]
F[63,51]=(A[51]*F[51,63])/A[63]
F[63,52]=(A[52]*F[52,63])/A[63]
F[63,53]=(A[53]*F[53,63])/A[63]
F[63,54]=(A[54]*F[54,63])/A[63]
F[63,55]=(A[55]*F[55,63])/A[63]
F[63,56]=(A[56]*F[56,63])/A[63]
F[63,57]=(A[57]*F[57,63])/A[63]
F[63,58]=(A[58]*F[58,63])/A[63]
F[63,18]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0,0.045,0,0.045,0,0.045)
F[63,17]=ff_rec_pen_dis(0,0.103,0,0.045,0,0.045,0.045,0.381-0.045)
F[63,16]=ff_rec_pen_dis(0,0.103,0,0.045,0,0.045,0.381-0.045,0.381)
F[63,9]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0,0.045,0,0.045,0,0.045)
F[63,8]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0,0.045,0,0.045,0.045,0.381-0.045)
F[63,7]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0,0.045,0,0.045,0.381-0.045,0.381)
F[63,25]=ff_rec_par_dis(0,0.103,0,0.045,0,0.045,0,0.206,0.381)
F[63,26]=ff_rec_par_dis(0,0.103,0,0.045,0,0.045,0.206,0.309,0.381)
F[63,33]=(A[33]*F[33,63])/A[63]
F[63,38]=(A[38]*F[38,63])/A[63]
F[63,43]=(A[43]*F[43,63])/A[63]
F[63,19]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0,0.045,0.045,0.36-0.045,0,0.045)
F[63,20]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0,0.045,0.36-0.045,0.36,0,0.045)
F[63,10]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0,0.045,0.045,0.36-0.045,0,0.045)
F[63,11]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0,0.045,0.36-0.045,0.36,0,0.045)
F[63,13]=1-np.sum(F[63,:])

```

#Espalda 2.5 al resto

```

F[68,2]=(A[2]*F[2,68])/A[68]
F[68,3]=(A[3]*F[3,68])/A[68]
F[68,44]=(A[44]*F[44,68])/A[68]
F[68,45]=(A[45]*F[45,68])/A[68]
F[68,46]=(A[46]*F[46,68])/A[68]
F[68,47]=(A[47]*F[47,68])/A[68]
F[68,48]=(A[48]*F[48,68])/A[68]
F[68,49]=(A[49]*F[49,68])/A[68]
F[68,50]=(A[50]*F[50,68])/A[68]
F[68,51]=(A[51]*F[51,68])/A[68]
F[68,52]=(A[52]*F[52,68])/A[68]
F[68,53]=(A[53]*F[53,68])/A[68]
F[68,54]=(A[54]*F[54,68])/A[68]
F[68,55]=(A[55]*F[55,68])/A[68]
F[68,56]=(A[56]*F[56,68])/A[68]
F[68,57]=(A[57]*F[57,68])/A[68]
F[68,58]=(A[58]*F[58,68])/A[68]
F[68,18]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0,0.045,0,0.045,0,0.045)
F[68,17]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0,0.045,0,0.045,0.045,0.381-0.045)
F[68,16]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0,0.045,0,0.045,0.381-0.045,0.381)
F[68,9]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0,0.045,0,0.045,0,0.045)
F[68,8]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0,0.045,0,0.045,0.045,0.381-0.045)
F[68,7]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0,0.045,0,0.045,0.381-0.045,0.381)
F[68,25]=ff_rec_par_dis(0.103,0.206,0,0.045,0,0.045,0,0.206,0.381)
F[68,26]=ff_rec_par_dis(0.103,0.206,0,0.045,0,0.045,0.206,0.309,0.381)

```

```

F[68,33]=(A[33]*F[33,68])/A[68]
F[68,38]=(A[38]*F[38,68])/A[68]
F[68,43]=(A[43]*F[43,68])/A[68]
F[68,19]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0,0.045,0.045,0.36-0.045,0,0.045)
F[68,20]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0,0.045,0.36-0.045,0.36,0,0.045)
F[68,10]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0,0.045,0.045,0.36-0.045,0,0.045)
F[68,11]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0,0.045,0.36-0.045,0.36,0,0.045)
F[68,13]=1-np.sum(F[68,:])

#Espalda 1.2 al resto

F[60,3]=(A[3]*F[3,60])/A[60]
F[60,33]=(A[33]*F[33,60])/A[60]
F[60,38]=(A[38]*F[38,60])/A[60]
F[60,43]=(A[43]*F[43,60])/A[60]
F[60,48]=(A[48]*F[48,60])/A[60]
F[60,53]=(A[53]*F[53,60])/A[60]
F[60,58]=(A[58]*F[58,60])/A[60]
F[60,20]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0.045,0.12,0,0.045,0,0.045)
F[60,19]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0.045,0.12,0.045,0.36-
0.045,0,0.045)
F[60,18]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0.045,0.12,0.36-0.045,0.36,0,0.045)
F[60,11]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0.045,0.12,0,0.045,0,0.045)
F[60,10]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0.045,0.12,0.045,0.36-0.045,0,0.045)
F[60,9]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0.045,0.12,0.36-0.045,0.36,0,0.045)
F[60,13]=1-np.sum(F[60,:])

#Espalda 1.4 al resto

F[62,3]=(A[3]*F[3,62])/A[62]
F[62,33]=(A[33]*F[33,62])/A[62]
F[62,38]=(A[38]*F[38,62])/A[62]
F[62,43]=(A[43]*F[43,62])/A[62]
F[62,48]=(A[48]*F[48,62])/A[62]
F[62,53]=(A[53]*F[53,62])/A[62]
F[62,58]=(A[58]*F[58,62])/A[62]
F[62,18]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0.045,0.12,0,0.045,0,0.045)
F[62,19]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0.045,0.12,0.045,0.36-
0.045,0,0.045)
F[62,20]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0.045,0.12,0.36-0.045,0.36,0,0.045)
F[62,9]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0.045,0.12,0,0.045,0,0.045)
F[62,10]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0.045,0.12,0.045,0.36-0.045,0,0.045)
F[62,11]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0.045,0.12,0.36-0.045,0.36,0,0.045)
F[62,13]=1-np.sum(F[62,:])

#Espalda 1.3 al resto

F[61,3]=(A[3]*F[3,61])/A[61]
F[61,33]=(A[33]*F[33,61])/A[61]
F[61,38]=(A[38]*F[38,61])/A[61]
F[61,43]=(A[43]*F[43,61])/A[61]
F[61,48]=(A[48]*F[48,61])/A[61]
F[61,53]=(A[53]*F[53,61])/A[61]
F[61,58]=(A[58]*F[58,61])/A[61]
F[61,18]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0.12,0.12*2,0,0.045,0,0.045)
F[61,19]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0.12,0.12*2,0.045,0.36-
0.045,0,0.045)

```

```

F[61,20]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0.12,0.12*2,0.36-
0.045,0.36,0,0.045)
F[61,9]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0.12,0.12*2,0,0.045,0,0.045)
F[61,10]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0.12,0.12*2,0.045,0.36-0.045,0,0.045)
F[61,11]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0.12,0.12*2,0.36-0.045,0.36,0,0.045)
F[61,13]=1-np.sum(F[61,:])

```

#Espalda 2.3 al resto

```

F[66,3]=(A[3]*F[3,66])/A[66]
F[66,33]=(A[33]*F[33,66])/A[66]
F[66,38]=(A[38]*F[38,66])/A[66]
F[66,43]=(A[43]*F[43,66])/A[66]
F[66,48]=(A[48]*F[48,66])/A[66]
F[66,53]=(A[53]*F[53,66])/A[66]
F[66,58]=(A[58]*F[58,66])/A[66]
F[66,18]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0.12,0.12*2,0,0.045,0,0.045)
F[66,19]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0.12,0.12*2,0.045,0.36-0.045,0,0.045)
F[66,20]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0.12,0.12*2,0.36-0.045,0.36,0,0.045)
F[66,9]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0.12,0.12*2,0,0.045,0,0.045)
F[66,10]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0.12,0.12*2,0.045,0.36-0.045,0,0.045)
F[66,11]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0.12,0.12*2,0.36-0.045,0.36,0,0.045)
F[66,13]=1-np.sum(F[66,:])

```

#Espalda 2.2 al resto

```

F[65,3]=(A[3]*F[3,65])/A[65]
F[65,33]=(A[33]*F[33,65])/A[65]
F[65,38]=(A[38]*F[38,65])/A[65]
F[65,43]=(A[43]*F[43,65])/A[65]
F[65,48]=(A[48]*F[48,65])/A[65]
F[65,53]=(A[53]*F[53,65])/A[65]
F[65,58]=(A[58]*F[58,65])/A[65]
F[65,20]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0.045,0.12,0,0.045,0,0.045)
F[65,19]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0.045,0.12,0.045,0.36-0.045,0,0.045)
F[65,18]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0.045,0.12,0.36-0.045,0.36,0,0.045)
F[65,11]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0.045,0.12,0,0.045,0,0.045)
F[65,10]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0.045,0.12,0.045,0.36-0.045,0,0.045)
F[65,9]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0.045,0.12,0.36-0.045,0.36,0,0.045)
F[65,13]=1-np.sum(F[65,:])

```

#Espalda 2.4 al resto

```

F[67,3]=(A[3]*F[3,67])/A[67]
F[67,33]=(A[33]*F[33,67])/A[67]
F[67,38]=(A[38]*F[38,67])/A[67]
F[67,43]=(A[43]*F[43,67])/A[67]
F[67,48]=(A[48]*F[48,67])/A[67]
F[67,53]=(A[53]*F[53,67])/A[67]
F[67,58]=(A[58]*F[58,67])/A[67]
F[67,18]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0.045,0.12,0,0.045,0,0.045)
F[67,19]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0.045,0.12,0.045,0.36-0.045,0,0.045)
F[67,20]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0.045,0.12,0.36-0.045,0.36,0,0.045)
F[67,9]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0.045,0.12,0,0.045,0,0.045)
F[67,10]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0.045,0.12,0.045,0.36-0.045,0,0.045)
F[67,11]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.206,0.045,0.12,0.36-0.045,0.36,0,0.045)
F[67,13]=1-np.sum(F[67,:])

```

#Espalda 3.1 al resto

```
F[69,0]=(A[0]*F[0,69])/A[69]
F[69,3]=(A[3]*F[3,69])/A[69]

F[69,29]=(A[29]*F[29,69])/A[69]
F[69,30]=(A[30]*F[30,69])/A[69]
F[69,31]=(A[31]*F[31,69])/A[69]
F[69,32]=(A[32]*F[32,69])/A[69]
F[69,33]=(A[33]*F[33,69])/A[69]
F[69,34]=(A[34]*F[34,69])/A[69]
F[69,35]=(A[35]*F[35,69])/A[69]
F[69,36]=(A[36]*F[36,69])/A[69]
F[69,37]=(A[37]*F[37,69])/A[69]
F[69,38]=(A[38]*F[38,69])/A[69]
F[69,39]=(A[39]*F[39,69])/A[69]
F[69,40]=(A[40]*F[40,69])/A[69]
F[69,41]=(A[41]*F[41,69])/A[69]
F[69,42]=(A[42]*F[42,69])/A[69]
F[69,43]=(A[43]*F[43,69])/A[69]
F[69,20]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0,0.045,0,0.045,0,0.045)
F[69,21]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0,0.045,0,0.045,0.045,0.381-0.045)
F[69,14]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0,0.045,0,0.045,0.381-0.045,0.381)
F[69,11]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0,0.045,0,0.045,0,0.045)
F[69,12]=ff_rec_pen_dis(0,0.103,0,0.045,0,0.045,0.045,0.381-0.045)
F[69,5]=ff_rec_pen_dis(0,0.103,0,0.045,0,0.045,0.381-0.045,0.381)
F[69,22]=ff_rec_par_dis(0.206,0.309,0,0.045,0,0.045,0,0.206,0.381)
F[69,23]=ff_rec_par_dis(0.206,0.309,0,0.045,0,0.045,0.206,0.309,0.381)
F[69,48]=(A[48]*F[48,69])/A[69]
F[69,53]=(A[53]*F[53,69])/A[69]
F[69,58]=(A[58]*F[58,69])/A[69]
F[69,19]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0,0.045,0.045,0.36-0.045,0,0.045)
F[69,18]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0,0.045,0.36-0.045,0.36,0,0.045)
F[69,10]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0,0.045,0.045,0.36-0.045,0,0.045)
F[69,9]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0,0.045,0.36-0.045,0.36,0,0.045)
F[69,54]=(A[54]*F[54,69])/A[69]
F[69,55]=(A[55]*F[55,69])/A[69]
F[69,56]=(A[56]*F[56,69])/A[69]
F[69,57]=(A[57]*F[57,69])/A[69]
F[69,28]=ff_rec_par_dis(0.206,0.309,0,0.045,0.045,0.36-0.045,0.206,0.309,0.381)
F[69,26]=ff_rec_par_dis(0.206,0.309,0,0.045,0.36-0.045,0.36,0.206,0.309,0.381)
F[69,13]=ff_rec_pen_dis(0,0.103,0,0.045,0.045,0.36-0.045,0.045,0.381-0.045)
F[69,8]=ff_rec_pen_dis(0,0.103,0,0.045,0.36-0.045,0.36,0.045,0.381-0.045)
F[69,6]=ff_rec_pen_dis(0,0.103,0,0.045,0.045,0.36-0.045,0.381-0.045,0.381)
F[69,7]=ff_rec_pen_dis(0,0.103,0,0.045,0.36-0.045,0.36,0.381-0.045,0.381)
F[69,4]=1-np.sum(F[69,:])
```

#Espalda 3.5 al resto

```
F[73,2]=(A[2]*F[2,73])/A[73]
F[73,3]=(A[3]*F[3,73])/A[73]
```

```

F[73,44]=(A[44]*F[44,73])/A[73]
F[73,45]=(A[45]*F[45,73])/A[73]
F[73,46]=(A[46]*F[46,73])/A[73]
F[73,47]=(A[47]*F[47,73])/A[73]
F[73,48]=(A[48]*F[48,73])/A[73]
F[73,49]=(A[49]*F[49,73])/A[73]
F[73,50]=(A[50]*F[50,73])/A[73]
F[73,51]=(A[51]*F[51,73])/A[73]
F[73,52]=(A[52]*F[52,73])/A[73]
F[73,53]=(A[53]*F[53,73])/A[73]
F[73,54]=(A[54]*F[54,73])/A[73]
F[73,55]=(A[55]*F[55,73])/A[73]
F[73,56]=(A[56]*F[56,73])/A[73]
F[73,57]=(A[57]*F[57,73])/A[73]
F[73,58]=(A[58]*F[58,73])/A[73]
F[73,18]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0,0.045,0,0.045,0,0.045)
F[73,17]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0,0.045,0,0.045,0.045,0.381-0.045)
F[73,16]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0,0.045,0,0.045,0.381-0.045,0.381)
F[73,9]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0,0.045,0,0.045,0,0.045)
F[73,8]=ff_rec_pen_dis(0,0.103,0,0.045,0,0.045,0.045,0.381-0.045)
F[73,7]=ff_rec_pen_dis(0,0.103,0,0.045,0,0.045,0.381-0.045,0.381)
F[73,25]=ff_rec_par_dis(0.206,0.309,0,0.045,0,0.045,0,0.206,0.381)
F[73,26]=ff_rec_par_dis(0.206,0.309,0,0.045,0,0.045,0.206,0.309,0.381)
F[73,33]=(A[33]*F[33,73])/A[73]
F[73,38]=(A[38]*F[38,73])/A[73]
F[73,43]=(A[43]*F[43,73])/A[73]
F[73,19]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0,0.045,0.045,0.36-0.045,0,0.045)
F[73,20]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0,0.045,0.36-0.045,0.36,0,0.045)
F[73,10]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0,0.045,0.045,0.36-0.045,0,0.045)
F[73,11]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0,0.045,0.36-0.045,0.36,0,0.045)
F[73,39]=(A[39]*F[39,73])/A[73]
F[73,40]=(A[40]*F[40,73])/A[73]
F[73,41]=(A[41]*F[41,73])/A[73]
F[73,42]=(A[42]*F[42,73])/A[73]
F[73,28]=ff_rec_par_dis(0.206,0.309,0,0.045,0.045,0.36-
0.045,0.206,0.309,0.381)
F[73,23]=ff_rec_par_dis(0.206,0.309,0,0.045,0.36-
0.045,0.36,0.206,0.309,0.381)
F[73,13]=ff_rec_pen_dis(0,0.103,0,0.045,0.045,0.36-0.045,0.045,0.381-
0.045)
F[73,12]=ff_rec_pen_dis(0,0.103,0,0.045,0.36-0.045,0.36,0.045,0.381-
0.045)
F[73,6]=ff_rec_pen_dis(0,0.103,0,0.045,0.045,0.36-0.045,0.381-
0.045,0.381)
F[73,5]=ff_rec_pen_dis(0,0.103,0,0.045,0.36-0.045,0.36,0.381-0.045,0.381)
F[73,4]=1-np.sum(F[73,:])

```

#Espalda 3.3 al resto

```

F[71,3]=(A[3]*F[3,71])/A[71]

F[71,33]=(A[33]*F[33,71])/A[71]
F[71,38]=(A[38]*F[38,71])/A[71]
F[71,43]=(A[43]*F[43,71])/A[71]
F[71,48]=(A[48]*F[48,71])/A[71]
F[71,53]=(A[53]*F[53,71])/A[71]
F[71,58]=(A[58]*F[58,71])/A[71]

```

```

F[71,18]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0.12,0.12*2,0,0.045,0,0.045)
F[71,19]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0.12,0.12*2,0.045,0.36-0.045,0,0.045)
F[71,20]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0.12,0.12*2,0.36-0.045,0.36,0,0.045)
F[71,9]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0.12,0.12*2,0,0.045,0,0.045)
F[71,10]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0.12,0.12*2,0.045,0.36-
0.045,0,0.045)
F[71,11]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0.12,0.12*2,0.36-
0.045,0.36,0,0.045)
F[71,54]=(A[54]*F[54,71])/A[71]
F[71,55]=(A[55]*F[55,71])/A[71]
F[71,56]=(A[56]*F[56,71])/A[71]
F[71,57]=(A[57]*F[57,71])/A[71]
F[71,39]=(A[39]*F[39,71])/A[71]
F[71,40]=(A[40]*F[40,71])/A[71]
F[71,41]=(A[41]*F[41,71])/A[71]
F[71,42]=(A[42]*F[42,71])/A[71]
F[71,28]=ff_rec_par_dis(0.206,0.309,0.12,0.12*2,0.045,0.36-
0.045,0.206,0.309,0.381)
F[71,26]=ff_rec_par_dis(0.206,0.309,0.12,0.12*2,0,0.045,0.206,0.309,0.381
)
F[71,23]=F[71,26]
F[71,13]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0.12,0.12*2,0.045,0.36-
0.045,0.045,0.381-0.045)
F[71,6]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0.12,0.12*2,0.045,0.36-0.045,0.381-
0.045,0.381)
F[71,8]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0.12,0.12*2,0,0.045,0.045,0.381-
0.045)
F[71,7]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0.12,0.12*2,0,0.045,0.381-
0.045,0.381)
F[71,12]=F[71,8]
F[71,5]=F[71,7]
F[71,4]=1-np.sum(F[71,:])

```

#Espalda 3.2 al resto

```

F[70,3]=(A[3]*F[3,70])/A[70]

F[70,33]=(A[33]*F[33,70])/A[70]
F[70,38]=(A[38]*F[38,70])/A[70]
F[70,43]=(A[43]*F[43,70])/A[70]
F[70,48]=(A[48]*F[48,70])/A[70]
F[70,53]=(A[53]*F[53,70])/A[70]
F[70,58]=(A[58]*F[58,70])/A[70]
F[70,20]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0.045,0.12,0,0.045,0,0.045)
F[70,19]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0.045,0.12,0.045,0.36-0.045,0,0.045)
F[70,18]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0.045,0.12,0.36-0.045,0.36,0,0.045)
F[70,11]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0.045,0.12,0,0.045,0,0.045)
F[70,10]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0.045,0.12,0.045,0.36-
0.045,0,0.045)
F[70,9]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0.045,0.12,0.36-0.045,0.36,0,0.045)
F[70,54]=(A[54]*F[54,70])/A[70]
F[70,55]=(A[55]*F[55,70])/A[70]
F[70,56]=(A[56]*F[56,70])/A[70]
F[70,57]=(A[57]*F[57,70])/A[70]
F[70,39]=(A[39]*F[39,70])/A[70]
F[70,40]=(A[40]*F[40,70])/A[70]
F[70,41]=(A[41]*F[41,70])/A[70]

```

```

F[70,42]=(A[42]*F[42,70])/A[70]
F[70,28]=ff_rec_par_dis(0.206,0.309,0.045,0.12,0.045,0.36-
0.045,0.206,0.309,0.381)
F[70,23]=ff_rec_par_dis(0.206,0.309,0.045,0.12,0,0.045,0.206,0.309,0.381)
F[70,26]=ff_rec_par_dis(0.206,0.309,0.045,0.12,0.36-
0.045,0.36,0.206,0.309,0.381)
F[70,13]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0.045,0.12,0.045,0.36-
0.045,0.045,0.381-0.045)
F[70,6]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0.045,0.12,0.045,0.36-0.045,0.381-
0.045,0.381)
F[70,12]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0.045,0.12,0,0.045,0.045,0.381-
0.045)
F[70,8]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0.045,0.12,0.36-
0.045,0.36,0.045,0.381-0.045)
F[70,5]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0.045,0.12,0,0.045,0.381-
0.045,0.381)
F[70,7]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0.045,0.12,0.36-0.045,0.36,0.381-
0.045,0.381)
F[70,4]=1-np.sum(F[70,:])

```

#Espalda 3.4 al resto

```

F[72,3]=(A[3]*F[3,72])/A[72]

F[72,33]=(A[33]*F[33,72])/A[72]
F[72,38]=(A[38]*F[38,72])/A[72]
F[72,43]=(A[43]*F[43,72])/A[72]
F[72,48]=(A[48]*F[48,72])/A[72]
F[72,53]=(A[53]*F[53,72])/A[72]
F[72,58]=(A[58]*F[58,72])/A[72]
F[72,18]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0.045,0.12,0,0.045,0,0.045)
F[72,19]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0.045,0.12,0.045,0.36-0.045,0,0.045)
F[72,20]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0.045,0.12,0.36-0.045,0.36,0,0.045)
F[72,9]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0.045,0.12,0,0.045,0,0.045)
F[72,10]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0.045,0.12,0.045,0.36-
0.045,0,0.045)
F[72,11]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0.045,0.12,0.36-0.045,0.36,0,0.045)
F[72,54]=(A[54]*F[54,72])/A[72]
F[72,55]=(A[55]*F[55,72])/A[72]
F[72,56]=(A[56]*F[56,72])/A[72]
F[72,57]=(A[57]*F[57,72])/A[72]
F[72,39]=(A[39]*F[39,72])/A[72]
F[72,40]=(A[40]*F[40,72])/A[72]
F[72,41]=(A[41]*F[41,72])/A[72]
F[72,42]=(A[42]*F[42,72])/A[72]
F[72,28]=ff_rec_par_dis(0.206,0.309,0.045,0.12,0.045,0.36-
0.045,0.206,0.309,0.381)
F[72,26]=ff_rec_par_dis(0.206,0.309,0.045,0.12,0,0.045,0.206,0.309,0.381)
F[72,23]=ff_rec_par_dis(0.206,0.309,0.045,0.12,0.36-
0.045,0.36,0.206,0.309,0.381)
F[72,13]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0.045,0.12,0.045,0.36-
0.045,0.045,0.381-0.045)
F[72,6]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0.045,0.12,0.045,0.36-0.045,0.381-
0.045,0.381)
F[72,8]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0.045,0.12,0,0.045,0.045,0.381-
0.045)

```

```

F[72,12]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0.045,0.12,0.36-
0.045,0.36,0.045,0.381-0.045)
F[72,7]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0.045,0.12,0,0.045,0.381-
0.045,0.381)
F[72,5]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0.045,0.12,0.36-0.045,0.36,0.381-
0.045,0.381)
F[72,4]=1-np.sum(F[72,:])

#Frontal izquierda sub al resto

F[22,0]=(A[0]*F[0,22])/A[22]
F[22,1]=(A[1]*F[1,22])/A[22]
F[22,29]=(A[29]*F[29,22])/A[22]
F[22,30]=(A[30]*F[30,22])/A[22]
F[22,31]=(A[31]*F[31,22])/A[22]
F[22,32]=(A[32]*F[32,22])/A[22]
F[22,33]=(A[33]*F[33,22])/A[22]
F[22,34]=(A[34]*F[34,22])/A[22]
F[22,35]=(A[35]*F[35,22])/A[22]
F[22,36]=(A[36]*F[36,22])/A[22]
F[22,37]=(A[37]*F[37,22])/A[22]
F[22,38]=(A[38]*F[38,22])/A[22]
F[22,39]=(A[39]*F[39,22])/A[22]
F[22,40]=(A[40]*F[40,22])/A[22]
F[22,41]=(A[41]*F[41,22])/A[22]
F[22,42]=(A[42]*F[42,22])/A[22]
F[22,43]=(A[43]*F[43,22])/A[22]
F[22,59]=(A[59]*F[59,22])/A[22]
F[22,64]=(A[64]*F[64,22])/A[22]
F[22,69]=(A[69]*F[69,22])/A[22]
F[22,44]=(A[44]*F[44,22])/A[22]
F[22,49]=(A[49]*F[49,22])/A[22]
F[22,54]=(A[54]*F[54,22])/A[22]
F[22,14]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.206,0,0.045,0,0.045,0,0.045)
F[22,21]=ff_rec_pen_dis(0,0.206,0,0.045,0,0.045,0.045,0.381-0.045)
F[22,20]=ff_rec_pen_dis(0,0.206,0,0.045,0,0.045,0.381-0.045,0.381)
F[22,15]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.206,0,0.045,0.045,0.36-0.045,0,0.045)
F[22,16]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.206,0,0.045,0.36-0.045,0.36,0,0.045)
F[22,5]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.309,0,0.045,0,0.045,0,0.045)
F[22,12]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.309,0,0.045,0,0.045,0.045,0.381-0.045)
F[22,11]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.309,0,0.045,0,0.045,0.381-0.045,0.381)
F[22,6]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.309,0,0.045,0.045,0.36-0.045,0,0.045)
F[22,7]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.309,0,0.045,0.36-0.045,0.36,0,0.045)
F[22,13]=1-np.sum(F[22,:])

#Frontal derecha sub al resto

F[25,2]=(A[2]*F[2,25])/A[25]
F[25,1]=(A[1]*F[1,25])/A[25]
F[25,44]=(A[44]*F[44,25])/A[25]
F[25,45]=(A[45]*F[45,25])/A[25]
F[25,46]=(A[46]*F[46,25])/A[25]
F[25,47]=(A[47]*F[47,25])/A[25]
F[25,48]=(A[48]*F[48,25])/A[25]
F[25,49]=(A[49]*F[49,25])/A[25]
F[25,50]=(A[50]*F[50,25])/A[25]
F[25,51]=(A[51]*F[51,25])/A[25]

```

```

F[25,52]=(A[52]*F[52,25])/A[25]
F[25,53]=(A[53]*F[53,25])/A[25]
F[25,54]=(A[54]*F[54,25])/A[25]
F[25,55]=(A[55]*F[55,25])/A[25]
F[25,56]=(A[56]*F[56,25])/A[25]
F[25,57]=(A[57]*F[57,25])/A[25]
F[25,58]=(A[58]*F[58,25])/A[25]
F[25,63]=(A[63]*F[63,25])/A[25]
F[25,68]=(A[68]*F[68,25])/A[25]
F[25,73]=(A[73]*F[73,25])/A[25]
F[25,29]=(A[29]*F[29,25])/A[25]
F[25,34]=(A[34]*F[34,25])/A[25]
F[25,39]=(A[39]*F[39,25])/A[25]
F[25,16]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.206,0,0.045,0,0.045,0,0.045)
F[25,17]=ff_rec_pen_dis(0,0.206,0,0.045,0,0.045,0.045,0.381-0.045)
F[25,18]=ff_rec_pen_dis(0,0.206,0,0.045,0,0.045,0.381-0.045,0.381)
F[25,15]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.206,0,0.045,0.045,0.36-0.045,0,0.045)
F[25,14]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.206,0,0.045,0.36-0.045,0.36,0,0.045)
F[25,7]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.309,0,0.045,0,0.045,0,0.045)
F[25,8]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.309,0,0.045,0,0.045,0.045,0.381-0.045)
F[25,9]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.309,0,0.045,0,0.045,0.381-0.045,0.381)
F[25,6]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.309,0,0.045,0.045,0.36-0.045,0,0.045)
F[25,5]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.309,0,0.045,0.36-0.045,0.36,0,0.045)
F[25,13]=1-np.sum(F[25,:])

#Vidrio sub

F[27,1]=(A[1]*F[1,27])/A[27]
F[27,29]=(A[29]*F[29,27])/A[27]
F[27,34]=(A[34]*F[34,27])/A[27]
F[27,39]=(A[39]*F[39,27])/A[27]
F[27,44]=(A[44]*F[44,27])/A[27]
F[27,49]=(A[49]*F[49,27])/A[27]
F[27,54]=(A[54]*F[54,27])/A[27]
F[27,14]=ff_rec_pen_dis(0.05,0.206,0.045,0.36-0.045,0,0.045,0,0.045)
F[27,15]=ff_rec_pen_dis(0.05,0.206,0.045,0.36-0.045,0.045,0.36-
0.045,0,0.045)
F[27,16]=ff_rec_pen_dis(0.05,0.206,0.045,0.36-0.045,0.36-
0.045,0.36,0,0.045)
F[27,5]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.309-0.05,0.045,0.36-0.045,0,0.045,0,0.045)
F[27,6]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.309-0.05,0.045,0.36-0.045,0.045,0.36-
0.045,0,0.045)
F[27,7]=ff_rec_pen_dis(0.103,0.309-0.05,0.045,0.36-0.045,0.36-
0.045,0.36,0,0.045)
F[27,13]=1-np.sum(F[27,:])

#frontal centro sub

F[24,1]=(A[1]*F[1,24])/A[24]
F[24,29]=(A[29]*F[29,24])/A[24]
F[24,34]=(A[34]*F[34,24])/A[24]
F[24,39]=(A[39]*F[39,24])/A[24]
F[24,44]=(A[44]*F[44,24])/A[24]
F[24,49]=(A[49]*F[49,24])/A[24]
F[24,54]=(A[54]*F[54,24])/A[24]
F[24,14]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.05,0.045,0.36-0.045,0,0.045,0,0.045)

```

```

F[24,15]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.05,0.045,0.36-0.045,0.045,0.36-
0.045,0,0.045)
F[24,16]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.05,0.045,0.36-0.045,0.36-
0.045,0.36,0,0.045)
F[24,5]=ff_rec_pen_dis(0.309-0.05,0.309,0.045,0.36-0.045,0,0.045,0,0.045)
F[24,6]=ff_rec_pen_dis(0.309-0.05,0.309,0.045,0.36-0.045,0.045,0.36-
0.045,0,0.045)
F[24,7]=ff_rec_pen_dis(0.309-0.05,0.309,0.045,0.36-0.045,0.36-
0.045,0.36,0,0.045)
F[24,13]=1-np.sum(F[24,:])

#Vidrio up

F[28,1]=(A[1]*F[1,28])/A[28]

F[28,29]=(A[29]*F[29,28])/A[28]
F[28,34]=(A[34]*F[34,28])/A[28]
F[28,39]=(A[39]*F[39,28])/A[28]
F[28,44]=(A[44]*F[44,28])/A[28]
F[28,49]=(A[49]*F[49,28])/A[28]
F[28,54]=(A[54]*F[54,28])/A[28]
F[28,14]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0.045,0.36-0.045,0,0.045,0,0.045)
F[28,15]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0.045,0.36-0.045,0.045,0.36-
0.045,0,0.045)
F[28,16]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0.045,0.36-0.045,0.36-
0.045,0.36,0,0.045)
F[28,5]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0.045,0.36-0.045,0,0.045,0,0.045)
F[28,6]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0.045,0.36-0.045,0.045,0.36-
0.045,0,0.045)
F[28,7]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0.045,0.36-0.045,0.36-
0.045,0.36,0,0.045)
F[28,55]=(A[55]*F[55,28])/A[28]
F[28,56]=(A[56]*F[56,28])/A[28]
F[28,57]=(A[57]*F[57,28])/A[28]
F[28,58]=(A[58]*F[58,28])/A[28]
F[28,40]=(A[40]*F[40,28])/A[28]
F[28,41]=(A[41]*F[41,28])/A[28]
F[28,42]=(A[42]*F[42,28])/A[28]
F[28,43]=(A[43]*F[43,28])/A[28]
F[28,69]=(A[69]*F[69,28])/A[28]
F[28,70]=(A[70]*F[70,28])/A[28]
F[28,71]=(A[71]*F[71,28])/A[28]
F[28,72]=(A[72]*F[72,28])/A[28]
F[28,73]=(A[73]*F[73,28])/A[28]
F[28,7]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0.045,0.36-0.045,0,0.045,0,0.045)
F[28,6]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0.045,0.36-0.045,0.045,0.36-
0.045,0,0.045)
F[28,5]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0.045,0.36-0.045,0.36-
0.045,0.36,0,0.045)
F[28,13]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0.045,0.36-0.045,0.045,0.36-
0.045,0.045,0.381-0.045)
F[28,10]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0.045,0.36-0.045,0.045,0.36-
0.045,0.381-0.045,0.381)
F[28,8]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0.045,0.36-
0.045,0,0.045,0.045,0.381-0.045)
F[28,9]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0.045,0.36-0.045,0,0.045,0.381-
0.045,0.381)

```

```

F[28,12]=F[28,8]
F[28,11]=F[28,9]
F[28,4]=1-np.sum(F[28,:])

#Frontal izquierda up al resto

F[23,0]=(A[0]*F[0,23])/A[23]
F[23,1]=(A[1]*F[1,23])/A[23]

F[23,29]=(A[29]*F[29,23])/A[23]
F[23,30]=(A[30]*F[30,23])/A[23]
F[23,31]=(A[31]*F[31,23])/A[23]
F[23,32]=(A[32]*F[32,23])/A[23]
F[23,33]=(A[33]*F[33,23])/A[23]
F[23,34]=(A[34]*F[34,23])/A[23]
F[23,35]=(A[35]*F[35,23])/A[23]
F[23,36]=(A[36]*F[36,23])/A[23]
F[23,37]=(A[37]*F[37,23])/A[23]
F[23,38]=(A[38]*F[38,23])/A[23]
F[23,39]=(A[39]*F[39,23])/A[23]
F[23,40]=(A[40]*F[40,23])/A[23]
F[23,41]=(A[41]*F[41,23])/A[23]
F[23,42]=(A[42]*F[42,23])/A[23]
F[23,43]=(A[43]*F[43,23])/A[23]
F[23,59]=(A[59]*F[59,23])/A[23]
F[23,64]=(A[64]*F[64,23])/A[23]
F[23,69]=(A[69]*F[69,23])/A[23]
F[23,44]=(A[44]*F[44,23])/A[23]
F[23,49]=(A[49]*F[49,23])/A[23]
F[23,54]=(A[54]*F[54,23])/A[23]
F[23,14]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0,0.045,0,0.045,0,0.045)
F[23,21]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0,0.045,0,0.045,0.045,0.381-0.045)
F[23,20]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0,0.045,0,0.045,0.381-0.045,0.381)
F[23,15]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0,0.045,0.045,0.36-0.045,0,0.045)
F[23,16]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0,0.045,0.36-0.045,0.36,0,0.045)
F[23,5]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0,0.045,0,0.045,0,0.045)
F[23,12]=ff_rec_pen_dis(0,0.103,0,0.045,0,0.045,0.045,0.381-0.045)
F[23,11]=ff_rec_pen_dis(0,0.103,0,0.045,0,0.045,0.381-0.045,0.381)
F[23,6]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0,0.045,0.045,0.36-0.045,0,0.045)
F[23,7]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0,0.045,0.36-0.045,0.36,0,0.045)
F[23,55]=(A[55]*F[55,23])/A[23]
F[23,56]=(A[56]*F[56,23])/A[23]
F[23,57]=(A[57]*F[57,23])/A[23]
F[23,58]=(A[58]*F[58,23])/A[23]
F[23,70]=(A[70]*F[70,23])/A[23]
F[23,71]=(A[71]*F[71,23])/A[23]
F[23,72]=(A[72]*F[72,23])/A[23]
F[23,73]=(A[73]*F[73,23])/A[23]
F[23,13]=ff_rec_pen_dis(0,0.103,0,0.045,0.045,0.36-0.045,0.045,0.381-0.045)
F[23,10]=ff_rec_pen_dis(0,0.103,0,0.045,0.045,0.36-0.045,0.381-0.045,0.381)
F[23,9]=ff_rec_pen_dis(0,0.103,0,0.045,0.36-0.045,0.36,0.381-0.045,0.381)
F[23,8]=ff_rec_pen_dis(0,0.103,0,0.045,0.36-0.045,0.36,0.045,0.381-0.045)
F[23,4]=1-np.sum(F[23,:])

#Frontal derecha up al resto

```

```

F[26,2]=(A[2]*F[2,26])/A[26]
F[26,1]=(A[1]*F[1,26])/A[26]

F[26,44]=(A[44]*F[44,26])/A[26]
F[26,45]=(A[45]*F[45,26])/A[26]
F[26,46]=(A[46]*F[46,26])/A[26]
F[26,47]=(A[47]*F[47,26])/A[26]
F[26,48]=(A[48]*F[48,26])/A[26]
F[26,49]=(A[49]*F[49,26])/A[26]
F[26,50]=(A[50]*F[50,26])/A[26]
F[26,51]=(A[51]*F[51,26])/A[26]
F[26,52]=(A[52]*F[52,26])/A[26]
F[26,53]=(A[53]*F[53,26])/A[26]
F[26,54]=(A[54]*F[54,26])/A[26]
F[26,55]=(A[55]*F[55,26])/A[26]
F[26,56]=(A[56]*F[56,26])/A[26]
F[26,57]=(A[57]*F[57,26])/A[26]
F[26,58]=(A[58]*F[58,26])/A[26]
F[26,63]=(A[63]*F[63,26])/A[26]
F[26,68]=(A[68]*F[68,26])/A[26]
F[26,73]=(A[73]*F[73,26])/A[26]
F[26,29]=(A[29]*F[29,26])/A[26]
F[26,34]=(A[34]*F[34,26])/A[26]
F[26,39]=(A[39]*F[39,26])/A[26]
F[26,16]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0,0.045,0,0.045,0,0.045)
F[26,17]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0,0.045,0,0.045,0.045,0.381-0.045)
F[26,18]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0,0.045,0,0.045,0.381-0.045,0.381)
F[26,15]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0,0.045,0.045,0.36-0.045,0,0.045)
F[26,14]=ff_rec_pen_dis(0.206,0.309,0,0.045,0.36-0.045,0.36,0,0.045)
F[26,7]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0,0.045,0,0.045,0,0.045)
F[26,8]=ff_rec_pen_dis(0,0.103,0,0.045,0,0.045,0.045,0.381-0.045)
F[26,9]=ff_rec_pen_dis(0,0.103,0,0.045,0,0.045,0.381-0.045,0.381)
F[26,6]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0,0.045,0.045,0.36-0.045,0,0.045)
F[26,5]=ff_rec_pen_dis(10**-16,0.103,0,0.045,0.36-0.045,0.36,0,0.045)
F[26,69]=(A[69]*F[69,26])/A[26]
F[26,70]=(A[70]*F[70,26])/A[26]
F[26,71]=(A[71]*F[71,26])/A[26]
F[26,72]=(A[72]*F[72,26])/A[26]
F[26,40]=(A[40]*F[40,26])/A[26]
F[26,41]=(A[41]*F[41,26])/A[26]
F[26,42]=(A[42]*F[42,26])/A[26]
F[26,43]=(A[43]*F[43,26])/A[26]
F[26,13]=ff_rec_pen_dis(0,0.103,0,0.045,0.045,0.36-0.045,0.045,0.381-0.045)
F[26,10]=ff_rec_pen_dis(0,0.103,0,0.045,0.045,0.36-0.045,0.381-0.045,0.381)
F[26,12]=ff_rec_pen_dis(0,0.103,0,0.045,0.36-0.045,0.36,0.045,0.381-0.045)
F[26,11]=ff_rec_pen_dis(0,0.103,0,0.045,0.36-0.045,0.36,0.381-0.045,0.381)
F[26,4]=1-np.sum(F[26,:])

#Base frontal centro

F[15,1]=(A[1]*F[1,15])/A[15]
F[15,29]=(A[29]*F[29,15])/A[15]

```

```

F[15,34]=(A[34]*F[34,15])/A[15]
F[15,39]=(A[39]*F[39,15])/A[15]
F[15,44]=(A[44]*F[44,15])/A[15]
F[15,49]=(A[49]*F[49,15])/A[15]
F[15,54]=(A[54]*F[54,15])/A[15]
F[15,22]=(A[22]*F[22,15])/A[15]
F[15,23]=(A[23]*F[23,15])/A[15]
F[15,24]=(A[24]*F[24,15])/A[15]
F[15,25]=(A[25]*F[25,15])/A[15]
F[15,26]=(A[26]*F[26,15])/A[15]
F[15,27]=(A[27]*F[27,15])/A[15]
F[15,28]=(A[28]*F[28,15])/A[15]
F[15,5]=ff_rec_par_dis(0,0.045,0.045,0.36-0.045,0,0.045,0,0.045,0.309)
F[15,6]=ff_rec_par_dis(0,0.045,0.045,0.36-0.045,0.045,0.36-
0.045,0,0.045,0.309)
F[15,7]=ff_rec_par_dis(0,0.045,0.045,0.36-0.045,0.36-
0.045,0.36,0,0.045,0.309)
F[15,13]=1-np.sum(F[15,:])

#Base esquina izquierda frontal

F[14,1]=(A[1]*F[1,14])/A[14]
F[14,0]=(A[0]*F[0,14])/A[14]
F[14,44]=(A[44]*F[44,14])/A[14]
F[14,49]=(A[49]*F[49,14])/A[14]
F[14,54]=(A[54]*F[54,14])/A[14]
F[14,22]=(A[22]*F[22,14])/A[14]
F[14,23]=(A[23]*F[23,14])/A[14]
F[14,24]=(A[24]*F[24,14])/A[14]
F[14,25]=(A[25]*F[25,14])/A[14]
F[14,26]=(A[26]*F[26,14])/A[14]
F[14,27]=(A[27]*F[27,14])/A[14]
F[14,28]=(A[28]*F[28,14])/A[14]
F[14,29]=(A[29]*F[29,14])/A[14]
F[14,30]=(A[30]*F[30,14])/A[14]
F[14,31]=(A[31]*F[31,14])/A[14]
F[14,32]=(A[32]*F[32,14])/A[14]
F[14,33]=(A[33]*F[33,14])/A[14]
F[14,34]=(A[34]*F[34,14])/A[14]
F[14,35]=(A[35]*F[35,14])/A[14]
F[14,36]=(A[36]*F[36,14])/A[14]
F[14,37]=(A[37]*F[37,14])/A[14]
F[14,38]=(A[38]*F[38,14])/A[14]
F[14,39]=(A[39]*F[39,14])/A[14]
F[14,40]=(A[40]*F[40,14])/A[14]
F[14,41]=(A[41]*F[41,14])/A[14]
F[14,42]=(A[42]*F[42,14])/A[14]
F[14,43]=(A[43]*F[43,14])/A[14]
F[14,59]=(A[59]*F[59,14])/A[14]
F[14,64]=(A[64]*F[64,14])/A[14]
F[14,69]=(A[69]*F[69,14])/A[14]
F[14,5]=ff_rec_par_dis(0,0.045,0,0.045,0,0.045,0,0.045,0.309)
F[14,6]=ff_rec_par_dis(0,0.045,0,0.045,0.045,0.36-0.045,0,0.045,0.309)
F[14,7]=ff_rec_par_dis(0,0.045,0,0.045,0.36-0.045,0.36,0,0.045,0.309)
F[14,12]=ff_rec_par_dis(0,0.045,0,0.045,0,0.045,0.045,0.381-0.045,0.309)
F[14,11]=ff_rec_par_dis(0,0.045,0,0.045,0,0.045,0.381-0.045,0.381,0.309)
F[14,13]=1-np.sum(F[14,:])

```

```
#Base esquina derecha frontal
```

```
F[16,1]=(A[1]*F[1,16])/A[16]
F[16,2]=(A[2]*F[2,16])/A[16]
F[16,22]=(A[22]*F[22,16])/A[16]
F[16,23]=(A[23]*F[23,16])/A[16]
F[16,24]=(A[24]*F[24,16])/A[16]
F[16,25]=(A[25]*F[25,16])/A[16]
F[16,26]=(A[26]*F[26,16])/A[16]
F[16,27]=(A[27]*F[27,16])/A[16]
F[16,28]=(A[28]*F[28,16])/A[16]
F[16,44]=(A[44]*F[44,16])/A[16]
F[16,45]=(A[45]*F[45,16])/A[16]
F[16,46]=(A[46]*F[46,16])/A[16]
F[16,47]=(A[47]*F[47,16])/A[16]
F[16,48]=(A[48]*F[48,16])/A[16]
F[16,49]=(A[49]*F[49,16])/A[16]
F[16,50]=(A[50]*F[50,16])/A[16]
F[16,51]=(A[51]*F[51,16])/A[16]
F[16,52]=(A[52]*F[52,16])/A[16]
F[16,53]=(A[53]*F[53,16])/A[16]
F[16,54]=(A[54]*F[54,16])/A[16]
F[16,55]=(A[55]*F[55,16])/A[16]
F[16,56]=(A[56]*F[56,16])/A[16]
F[16,57]=(A[57]*F[57,16])/A[16]
F[16,58]=(A[58]*F[58,16])/A[16]
F[16,63]=(A[63]*F[63,16])/A[16]
F[16,68]=(A[68]*F[68,16])/A[16]
F[16,73]=(A[73]*F[73,16])/A[16]
F[16,29]=(A[29]*F[29,16])/A[16]
F[16,34]=(A[34]*F[34,16])/A[16]
F[16,39]=(A[39]*F[39,16])/A[16]
F[16,7]=ff_rec_par_dis(0,0.045,0,0.045,0,0.045,0,0.045,0.309)
F[16,6]=ff_rec_par_dis(0,0.045,0,0.045,0.045,0.36-0.045,0,0.045,0.309)
F[16,5]=ff_rec_par_dis(0,0.045,0,0.045,0.36-0.045,0.36,0,0.045,0.309)
F[16,8]=ff_rec_par_dis(0,0.045,0,0.045,0,0.045,0.045,0.381-0.045,0.309)
F[16,9]=ff_rec_par_dis(0,0.045,0,0.045,0,0.045,0.381-0.045,0.381,0.309)
F[16,13]=1-np.sum(F[16,:])
```

```
#Base izquierda centro
```

```
F[21,0]=(A[0]*F[0,21])/A[21]
F[21,22]=(A[22]*F[22,21])/A[21]
F[21,23]=(A[23]*F[23,21])/A[21]
F[21,29]=(A[29]*F[29,21])/A[21]
F[21,30]=(A[30]*F[30,21])/A[21]
F[21,31]=(A[31]*F[31,21])/A[21]
F[21,32]=(A[32]*F[32,21])/A[21]
F[21,33]=(A[33]*F[33,21])/A[21]
F[21,34]=(A[34]*F[34,21])/A[21]
F[21,35]=(A[35]*F[35,21])/A[21]
F[21,36]=(A[36]*F[36,21])/A[21]
F[21,37]=(A[37]*F[37,21])/A[21]
F[21,38]=(A[38]*F[38,21])/A[21]
F[21,39]=(A[39]*F[39,21])/A[21]
```

```

F[21,40]=(A[40]*F[40,21])/A[21]
F[21,41]=(A[41]*F[41,21])/A[21]
F[21,42]=(A[42]*F[42,21])/A[21]
F[21,43]=(A[43]*F[43,21])/A[21]
F[21,59]=(A[59]*F[59,21])/A[21]
F[21,64]=(A[64]*F[64,21])/A[21]
F[21,69]=(A[69]*F[69,21])/A[21]
F[21,5]=ff_rec_par_dis(0.045,0.381-0.045,0,0.045,0,0.045,0,0.045,0.309)
F[21,12]=ff_rec_par_dis(0.045,0.381-0.045,0,0.045,0,0.045,0.045,0.381-
0.045,0.309)
F[21,11]=ff_rec_par_dis(0.045,0.381-0.045,0,0.045,0,0.045,0.381-
0.045,0.381,0.309)
F[21,13]=1-np.sum(F[21,:])

```

#Base derecha centro

```

F[17,2]=(A[2]*F[2,17])/A[17]
F[17,25]=(A[25]*F[25,17])/A[17]
F[17,26]=(A[26]*F[26,17])/A[17]
F[17,44]=(A[44]*F[44,17])/A[17]
F[17,45]=(A[45]*F[45,17])/A[17]
F[17,46]=(A[46]*F[46,17])/A[17]
F[17,47]=(A[47]*F[47,17])/A[17]
F[17,48]=(A[48]*F[48,17])/A[17]
F[17,49]=(A[49]*F[49,17])/A[17]
F[17,50]=(A[50]*F[50,17])/A[17]
F[17,51]=(A[51]*F[51,17])/A[17]
F[17,52]=(A[52]*F[52,17])/A[17]
F[17,53]=(A[53]*F[53,17])/A[17]
F[17,54]=(A[54]*F[54,17])/A[17]
F[17,55]=(A[55]*F[55,17])/A[17]
F[17,56]=(A[56]*F[56,17])/A[17]
F[17,57]=(A[57]*F[57,17])/A[17]
F[17,58]=(A[58]*F[58,17])/A[17]
F[17,63]=(A[63]*F[63,17])/A[17]
F[17,68]=(A[68]*F[68,17])/A[17]
F[17,73]=(A[73]*F[73,17])/A[17]
F[17,7]=ff_rec_par_dis(0.045,0.381-0.045,0,0.045,0,0.045,0,0.045,0.309)
F[17,8]=ff_rec_par_dis(0.045,0.381-0.045,0,0.045,0,0.045,0.045,0.381-
0.045,0.309)
F[17,9]=ff_rec_par_dis(0.045,0.381-0.045,0,0.045,0,0.045,0.381-
0.045,0.381,0.309)
F[17,13]=1-np.sum(F[17,:])

```

#Base espalda centro

```

F[19,3]=(A[3]*F[3,19])/A[19]
F[19,59]=(A[59]*F[59,19])/A[19]
F[19,60]=(A[60]*F[60,19])/A[19]
F[19,61]=(A[61]*F[61,19])/A[19]
F[19,62]=(A[62]*F[62,19])/A[19]
F[19,63]=(A[63]*F[63,19])/A[19]
F[19,64]=(A[64]*F[64,19])/A[19]
F[19,65]=(A[65]*F[65,19])/A[19]
F[19,66]=(A[66]*F[66,19])/A[19]
F[19,67]=(A[67]*F[67,19])/A[19]
F[19,68]=(A[68]*F[68,19])/A[19]

```

```

F[19,69]=(A[69]*F[69,19])/A[19]
F[19,70]=(A[70]*F[70,19])/A[19]
F[19,71]=(A[71]*F[71,19])/A[19]
F[19,72]=(A[72]*F[72,19])/A[19]
F[19,73]=(A[73]*F[73,19])/A[19]
F[19,33]=(A[33]*F[33,19])/A[19]
F[19,38]=(A[38]*F[38,19])/A[19]
F[19,43]=(A[43]*F[43,19])/A[19]
F[19,48]=(A[48]*F[48,19])/A[19]
F[19,53]=(A[53]*F[53,19])/A[19]
F[19,58]=(A[58]*F[58,19])/A[19]
F[19,11]=ff_rec_par_dis(0,0.045,0.045,0.36-0.045,0,0.045,0,0.045,0.309)
F[19,10]=ff_rec_par_dis(0,0.045,0.045,0.36-0.045,0.045,0.36-
0.045,0,0.045,0.309)
F[19,9]=ff_rec_par_dis(0,0.045,0.045,0.36-0.045,0.36-
0.045,0.36,0,0.045,0.309)
F[19,13]=1-np.sum(F[19,:])

```

```

#Base esquina izquierda espalda

```

```

F[20,3]=(A[3]*F[3,20])/A[20]
F[20,0]=(A[0]*F[0,20])/A[20]
F[20,59]=(A[59]*F[59,20])/A[20]
F[20,60]=(A[60]*F[60,20])/A[20]
F[20,61]=(A[61]*F[61,20])/A[20]
F[20,62]=(A[62]*F[62,20])/A[20]
F[20,63]=(A[63]*F[63,20])/A[20]
F[20,64]=(A[64]*F[64,20])/A[20]
F[20,65]=(A[65]*F[65,20])/A[20]
F[20,66]=(A[66]*F[66,20])/A[20]
F[20,67]=(A[67]*F[67,20])/A[20]
F[20,68]=(A[68]*F[68,20])/A[20]
F[20,69]=(A[69]*F[69,20])/A[20]
F[20,70]=(A[70]*F[70,20])/A[20]
F[20,71]=(A[71]*F[71,20])/A[20]
F[20,72]=(A[72]*F[72,20])/A[20]
F[20,73]=(A[73]*F[73,20])/A[20]
F[20,48]=(A[48]*F[48,20])/A[20]
F[20,53]=(A[53]*F[53,20])/A[20]
F[20,58]=(A[58]*F[58,20])/A[20]
F[20,29]=(A[29]*F[29,20])/A[20]
F[20,30]=(A[30]*F[30,20])/A[20]
F[20,31]=(A[31]*F[31,20])/A[20]
F[20,32]=(A[32]*F[32,20])/A[20]
F[20,33]=(A[33]*F[33,20])/A[20]
F[20,34]=(A[34]*F[34,20])/A[20]
F[20,35]=(A[35]*F[35,20])/A[20]
F[20,36]=(A[36]*F[36,20])/A[20]
F[20,37]=(A[37]*F[37,20])/A[20]
F[20,38]=(A[38]*F[38,20])/A[20]
F[20,39]=(A[39]*F[39,20])/A[20]
F[20,40]=(A[40]*F[40,20])/A[20]
F[20,41]=(A[41]*F[41,20])/A[20]
F[20,42]=(A[42]*F[42,20])/A[20]
F[20,43]=(A[43]*F[43,20])/A[20]
F[20,22]=(A[22]*F[22,20])/A[20]
F[20,23]=(A[23]*F[23,20])/A[20]

```

```

F[20,11]=ff_rec_par_dis(0,0.045,0,0.045,0,0.045,0,0.045,0.309)
F[20,10]=ff_rec_par_dis(0,0.045,0,0.045,0.045,0.36-0.045,0,0.045,0.309)
F[20,9]=ff_rec_par_dis(0,0.045,0,0.045,0.36-0.045,0.36,0,0.045,0.309)
F[20,12]=ff_rec_par_dis(0,0.045,0,0.045,0,0.045,0.045,0.381-0.045,0.309)
F[20,5]=ff_rec_par_dis(0,0.045,0,0.045,0,0.045,0.381-0.045,0.381,0.309)
F[20,13]=1-np.sum(F[20,:])

```

#Base esquina derecha espalda

```

F[18,3]=(A[3]*F[3,18])/A[18]
F[18,2]=(A[2]*F[2,18])/A[18]
F[18,59]=(A[59]*F[59,18])/A[18]
F[18,60]=(A[60]*F[60,18])/A[18]
F[18,61]=(A[61]*F[61,18])/A[18]
F[18,62]=(A[62]*F[62,18])/A[18]
F[18,63]=(A[63]*F[63,18])/A[18]
F[18,64]=(A[64]*F[64,18])/A[18]
F[18,65]=(A[65]*F[65,18])/A[18]
F[18,66]=(A[66]*F[66,18])/A[18]
F[18,67]=(A[67]*F[67,18])/A[18]
F[18,68]=(A[68]*F[68,18])/A[18]
F[18,69]=(A[69]*F[69,18])/A[18]
F[18,70]=(A[70]*F[70,18])/A[18]
F[18,71]=(A[71]*F[71,18])/A[18]
F[18,72]=(A[72]*F[72,18])/A[18]
F[18,73]=(A[73]*F[73,18])/A[18]
F[18,33]=(A[33]*F[33,18])/A[18]
F[18,38]=(A[38]*F[38,18])/A[18]
F[18,43]=(A[43]*F[43,18])/A[18]
F[18,44]=(A[44]*F[44,18])/A[18]
F[18,45]=(A[45]*F[45,18])/A[18]
F[18,46]=(A[46]*F[46,18])/A[18]
F[18,47]=(A[47]*F[47,18])/A[18]
F[18,48]=(A[48]*F[48,18])/A[18]
F[18,49]=(A[49]*F[49,18])/A[18]
F[18,50]=(A[50]*F[50,18])/A[18]
F[18,51]=(A[51]*F[51,18])/A[18]
F[18,52]=(A[52]*F[52,18])/A[18]
F[18,53]=(A[53]*F[53,18])/A[18]
F[18,54]=(A[54]*F[54,18])/A[18]
F[18,55]=(A[55]*F[55,18])/A[18]
F[18,56]=(A[56]*F[56,18])/A[18]
F[18,57]=(A[57]*F[57,18])/A[18]
F[18,58]=(A[58]*F[58,18])/A[18]
F[18,25]=(A[25]*F[25,18])/A[18]
F[18,26]=(A[26]*F[26,18])/A[18]
F[18,9]=ff_rec_par_dis(0,0.045,0,0.045,0,0.045,0,0.045,0.309)
F[18,10]=ff_rec_par_dis(0,0.045,0,0.045,0.045,0.36-0.045,0,0.045,0.309)
F[18,11]=ff_rec_par_dis(0,0.045,0,0.045,0.36-0.045,0.36,0,0.045,0.309)
F[18,8]=ff_rec_par_dis(0,0.045,0,0.045,0,0.045,0.045,0.381-0.045,0.309)
F[18,7]=ff_rec_par_dis(0,0.045,0,0.045,0,0.045,0.381-0.045,0.381,0.309)
F[18,13]=1-np.sum(F[18,:])

```

#Salida Templador frontal centro:

```

F[6,1]=(A[1]*F[1,6])/A[6]

```

```

F[6,14]=(A[14]*F[14,6])/A[6]
F[6,15]=(A[15]*F[15,6])/A[6]
F[6,16]=(A[16]*F[16,6])/A[6]
F[6,29]=(A[29]*F[29,6])/A[6]
F[6,34]=(A[34]*F[34,6])/A[6]
F[6,39]=(A[39]*F[39,6])/A[6]
F[6,44]=(A[44]*F[44,6])/A[6]
F[6,49]=(A[49]*F[49,6])/A[6]
F[6,54]=(A[54]*F[54,6])/A[6]
F[6,22]=(A[22]*F[22,6])/A[6]
F[6,23]=(A[23]*F[23,6])/A[6]
F[6,24]=(A[24]*F[24,6])/A[6]
F[6,25]=(A[25]*F[25,6])/A[6]
F[6,26]=(A[26]*F[26,6])/A[6]
F[6,27]=(A[27]*F[27,6])/A[6]
F[6,28]=(A[28]*F[28,6])/A[6]
F[6,55]=(A[55]*F[55,6])/A[6]
F[6,56]=(A[56]*F[56,6])/A[6]
F[6,57]=(A[57]*F[57,6])/A[6]
F[6,58]=(A[58]*F[58,6])/A[6]
F[6,40]=(A[40]*F[40,6])/A[6]
F[6,41]=(A[41]*F[41,6])/A[6]
F[6,42]=(A[42]*F[42,6])/A[6]
F[6,43]=(A[43]*F[43,6])/A[6]
F[6,69]=(A[69]*F[69,6])/A[6]
F[6,70]=(A[70]*F[70,6])/A[6]
F[6,71]=(A[71]*F[71,6])/A[6]
F[6,72]=(A[72]*F[72,6])/A[6]
F[6,73]=(A[73]*F[73,6])/A[6]
F[6,4]=1-np.sum(F[6,:])

```

#Salida Templador esquina izquierda frontal:

```

F[5,0]=(A[0]*F[0,5])/A[5]
F[5,1]=(A[1]*F[1,5])/A[5]

F[5,44]=(A[44]*F[44,5])/A[5]
F[5,49]=(A[49]*F[49,5])/A[5]
F[5,54]=(A[54]*F[54,5])/A[5]
F[5,22]=(A[22]*F[22,5])/A[5]
F[5,23]=(A[23]*F[23,5])/A[5]
F[5,24]=(A[24]*F[24,5])/A[5]
F[5,25]=(A[25]*F[25,5])/A[5]
F[5,26]=(A[26]*F[26,5])/A[5]
F[5,27]=(A[27]*F[27,5])/A[5]
F[5,28]=(A[28]*F[28,5])/A[5]
F[5,29]=(A[29]*F[29,5])/A[5]
F[5,30]=(A[30]*F[30,5])/A[5]
F[5,31]=(A[31]*F[31,5])/A[5]
F[5,32]=(A[32]*F[32,5])/A[5]
F[5,33]=(A[33]*F[33,5])/A[5]
F[5,34]=(A[34]*F[34,5])/A[5]
F[5,35]=(A[35]*F[35,5])/A[5]
F[5,36]=(A[36]*F[36,5])/A[5]
F[5,37]=(A[37]*F[37,5])/A[5]
F[5,38]=(A[38]*F[38,5])/A[5]
F[5,39]=(A[39]*F[39,5])/A[5]

```

```

F[5,40]=(A[40]*F[40,5])/A[5]
F[5,41]=(A[41]*F[41,5])/A[5]
F[5,42]=(A[42]*F[42,5])/A[5]
F[5,43]=(A[43]*F[43,5])/A[5]
F[5,59]=(A[59]*F[59,5])/A[5]
F[5,64]=(A[64]*F[64,5])/A[5]
F[5,69]=(A[69]*F[69,5])/A[5]
F[5,55]=(A[55]*F[55,5])/A[5]
F[5,56]=(A[56]*F[56,5])/A[5]
F[5,57]=(A[57]*F[57,5])/A[5]
F[5,58]=(A[58]*F[58,5])/A[5]
F[5,70]=(A[70]*F[70,5])/A[5]
F[5,71]=(A[71]*F[71,5])/A[5]
F[5,72]=(A[72]*F[72,5])/A[5]
F[5,73]=(A[73]*F[73,5])/A[5]
F[5,14]=(A[14]*F[14,5])/A[5]
F[5,15]=(A[15]*F[15,5])/A[5]
F[5,16]=(A[16]*F[16,5])/A[5]
F[5,21]=(A[21]*F[21,5])/A[5]
F[5,20]=(A[20]*F[20,5])/A[5]
F[5,4]=1-np.sum(F[5,:])

#Salida Templador esquina derecha frontal:

F[7,2]=(A[2]*F[2,7])/A[7]
F[7,1]=(A[1]*F[1,7])/A[7]

F[7,22]=(A[22]*F[22,7])/A[7]
F[7,23]=(A[23]*F[23,7])/A[7]
F[7,24]=(A[24]*F[24,7])/A[7]
F[7,25]=(A[25]*F[25,7])/A[7]
F[7,26]=(A[26]*F[26,7])/A[7]
F[7,27]=(A[27]*F[27,7])/A[7]
F[7,28]=(A[28]*F[28,7])/A[7]
F[7,44]=(A[44]*F[44,7])/A[7]
F[7,45]=(A[45]*F[45,7])/A[7]
F[7,46]=(A[46]*F[46,7])/A[7]
F[7,47]=(A[47]*F[47,7])/A[7]
F[7,48]=(A[48]*F[48,7])/A[7]
F[7,49]=(A[49]*F[49,7])/A[7]
F[7,50]=(A[50]*F[50,7])/A[7]
F[7,51]=(A[51]*F[51,7])/A[7]
F[7,52]=(A[52]*F[52,7])/A[7]
F[7,53]=(A[53]*F[53,7])/A[7]
F[7,54]=(A[54]*F[54,7])/A[7]
F[7,55]=(A[55]*F[55,7])/A[7]
F[7,56]=(A[56]*F[56,7])/A[7]
F[7,57]=(A[57]*F[57,7])/A[7]
F[7,58]=(A[58]*F[58,7])/A[7]
F[7,63]=(A[63]*F[63,7])/A[7]
F[7,68]=(A[68]*F[68,7])/A[7]
F[7,73]=(A[73]*F[73,7])/A[7]
F[7,29]=(A[29]*F[29,7])/A[7]
F[7,34]=(A[34]*F[34,7])/A[7]
F[7,39]=(A[39]*F[39,7])/A[7]
F[7,69]=(A[69]*F[69,7])/A[7]
F[7,70]=(A[70]*F[70,7])/A[7]

```

```

F[7,71]=(A[71]*F[71,7])/A[7]
F[7,72]=(A[72]*F[72,7])/A[7]
F[7,40]=(A[40]*F[40,7])/A[7]
F[7,41]=(A[41]*F[41,7])/A[7]
F[7,42]=(A[42]*F[42,7])/A[7]
F[7,43]=(A[43]*F[43,7])/A[7]
F[7,14]=(A[14]*F[14,7])/A[7]
F[7,15]=(A[15]*F[15,7])/A[7]
F[7,16]=(A[16]*F[16,7])/A[7]
F[7,17]=(A[17]*F[17,7])/A[7]
F[7,18]=(A[18]*F[18,7])/A[7]
F[7,4]=1-np.sum(F[7,:])

#Templador izquierda centro

F[12,0]=(A[0]*F[0,12])/A[12]

F[12,22]=(A[22]*F[22,12])/A[12]
F[12,23]=(A[23]*F[23,12])/A[12]
F[12,29]=(A[29]*F[29,12])/A[12]
F[12,30]=(A[30]*F[30,12])/A[12]
F[12,31]=(A[31]*F[31,12])/A[12]
F[12,32]=(A[32]*F[32,12])/A[12]
F[12,33]=(A[33]*F[33,12])/A[12]
F[12,34]=(A[34]*F[34,12])/A[12]
F[12,35]=(A[35]*F[35,12])/A[12]
F[12,36]=(A[36]*F[36,12])/A[12]
F[12,37]=(A[37]*F[37,12])/A[12]
F[12,38]=(A[38]*F[38,12])/A[12]
F[12,39]=(A[39]*F[39,12])/A[12]
F[12,40]=(A[40]*F[40,12])/A[12]
F[12,41]=(A[41]*F[41,12])/A[12]
F[12,42]=(A[42]*F[42,12])/A[12]
F[12,43]=(A[43]*F[43,12])/A[12]
F[12,59]=(A[59]*F[59,12])/A[12]
F[12,64]=(A[64]*F[64,12])/A[12]
F[12,69]=(A[69]*F[69,12])/A[12]
F[12,70]=(A[70]*F[70,12])/A[12]
F[12,71]=(A[71]*F[71,12])/A[12]
F[12,72]=(A[72]*F[72,12])/A[12]
F[12,73]=(A[73]*F[73,12])/A[12]
F[12,54]=(A[54]*F[54,12])/A[12]
F[12,55]=(A[55]*F[55,12])/A[12]
F[12,56]=(A[56]*F[56,12])/A[12]
F[12,57]=(A[57]*F[57,12])/A[12]
F[12,58]=(A[58]*F[58,12])/A[12]
F[12,28]=(A[28]*F[28,12])/A[12]
F[12,26]=(A[26]*F[26,12])/A[12]
F[12,14]=(A[14]*F[14,12])/A[12]
F[12,21]=(A[21]*F[21,12])/A[12]
F[12,20]=(A[20]*F[20,12])/A[12]
F[12,4]=1-np.sum(F[12,:])

#Templador derecha centro

F[8,2]=(A[2]*F[2,8])/A[8]

```

```

F[8,25]=(A[25]*F[25,8])/A[8]
F[8,26]=(A[26]*F[26,8])/A[8]
F[8,63]=(A[63]*F[63,8])/A[8]
F[8,68]=(A[68]*F[68,8])/A[8]
F[8,73]=(A[73]*F[73,8])/A[8]
F[8,44]=(A[44]*F[44,8])/A[8]
F[8,45]=(A[45]*F[45,8])/A[8]
F[8,46]=(A[46]*F[46,8])/A[8]
F[8,47]=(A[47]*F[47,8])/A[8]
F[8,48]=(A[48]*F[48,8])/A[8]
F[8,49]=(A[49]*F[49,8])/A[8]
F[8,50]=(A[50]*F[50,8])/A[8]
F[8,51]=(A[51]*F[51,8])/A[8]
F[8,52]=(A[52]*F[52,8])/A[8]
F[8,53]=(A[53]*F[53,8])/A[8]
F[8,54]=(A[54]*F[54,8])/A[8]
F[8,55]=(A[55]*F[55,8])/A[8]
F[8,56]=(A[56]*F[56,8])/A[8]
F[8,57]=(A[57]*F[57,8])/A[8]
F[8,58]=(A[58]*F[58,8])/A[8]
F[8,69]=(A[69]*F[69,8])/A[8]
F[8,70]=(A[70]*F[70,8])/A[8]
F[8,71]=(A[71]*F[71,8])/A[8]
F[8,72]=(A[72]*F[72,8])/A[8]
F[8,39]=(A[39]*F[39,8])/A[8]
F[8,40]=(A[40]*F[40,8])/A[8]
F[8,41]=(A[41]*F[41,8])/A[8]
F[8,42]=(A[42]*F[42,8])/A[8]
F[8,43]=(A[43]*F[43,8])/A[8]
F[8,23]=(A[23]*F[23,8])/A[8]
F[8,28]=(A[28]*F[28,8])/A[8]
F[8,16]=(A[16]*F[16,8])/A[8]
F[8,17]=(A[17]*F[17,8])/A[8]
F[8,18]=(A[18]*F[18,8])/A[8]
F[8,4]=1-np.sum(F[8,:])

#Templador espalda centro

F[10,3]=(A[3]*F[3,10])/A[10]

F[10,59]=(A[59]*F[59,10])/A[10]
F[10,60]=(A[60]*F[60,10])/A[10]
F[10,61]=(A[61]*F[61,10])/A[10]
F[10,62]=(A[62]*F[62,10])/A[10]
F[10,63]=(A[63]*F[63,10])/A[10]
F[10,64]=(A[64]*F[64,10])/A[10]
F[10,65]=(A[65]*F[65,10])/A[10]
F[10,66]=(A[66]*F[66,10])/A[10]
F[10,67]=(A[67]*F[67,10])/A[10]
F[10,68]=(A[68]*F[68,10])/A[10]
F[10,69]=(A[69]*F[69,10])/A[10]
F[10,70]=(A[70]*F[70,10])/A[10]
F[10,71]=(A[71]*F[71,10])/A[10]
F[10,72]=(A[72]*F[72,10])/A[10]
F[10,73]=(A[73]*F[73,10])/A[10]
F[10,33]=(A[33]*F[33,10])/A[10]
F[10,38]=(A[38]*F[38,10])/A[10]

```

```

F[10,43]=(A[43]*F[43,10])/A[10]
F[10,48]=(A[48]*F[48,10])/A[10]
F[10,53]=(A[53]*F[53,10])/A[10]
F[10,58]=(A[58]*F[58,10])/A[10]
F[10,23]=(A[23]*F[23,10])/A[10]
F[10,28]=(A[28]*F[28,10])/A[10]
F[10,26]=(A[26]*F[26,10])/A[10]
F[10,39]=(A[39]*F[39,10])/A[10]
F[10,40]=(A[40]*F[40,10])/A[10]
F[10,41]=(A[41]*F[41,10])/A[10]
F[10,42]=(A[42]*F[42,10])/A[10]
F[10,54]=(A[54]*F[54,10])/A[10]
F[10,55]=(A[55]*F[55,10])/A[10]
F[10,56]=(A[56]*F[56,10])/A[10]
F[10,57]=(A[57]*F[57,10])/A[10]
F[10,18]=(A[18]*F[18,10])/A[10]
F[10,19]=(A[19]*F[19,10])/A[10]
F[10,20]=(A[20]*F[20,10])/A[10]
F[10,4]=1-np.sum(F[10,:])

#Templador esquina izquierda espalda

F[11,0]=(A[0]*F[0,11])/A[11]
F[11,3]=(A[3]*F[3,11])/A[11]

F[11,29]=(A[29]*F[29,11])/A[11]
F[11,30]=(A[30]*F[30,11])/A[11]
F[11,31]=(A[31]*F[31,11])/A[11]
F[11,32]=(A[32]*F[32,11])/A[11]
F[11,33]=(A[33]*F[33,11])/A[11]
F[11,34]=(A[34]*F[34,11])/A[11]
F[11,35]=(A[35]*F[35,11])/A[11]
F[11,36]=(A[36]*F[36,11])/A[11]
F[11,37]=(A[37]*F[37,11])/A[11]
F[11,38]=(A[38]*F[38,11])/A[11]
F[11,39]=(A[39]*F[39,11])/A[11]
F[11,40]=(A[40]*F[40,11])/A[11]
F[11,41]=(A[41]*F[41,11])/A[11]
F[11,42]=(A[42]*F[42,11])/A[11]
F[11,43]=(A[43]*F[43,11])/A[11]
F[11,59]=(A[59]*F[59,11])/A[11]
F[11,60]=(A[60]*F[60,11])/A[11]
F[11,61]=(A[61]*F[61,11])/A[11]
F[11,62]=(A[62]*F[62,11])/A[11]
F[11,63]=(A[63]*F[63,11])/A[11]
F[11,64]=(A[64]*F[64,11])/A[11]
F[11,65]=(A[65]*F[65,11])/A[11]
F[11,66]=(A[66]*F[66,11])/A[11]
F[11,67]=(A[67]*F[67,11])/A[11]
F[11,68]=(A[68]*F[68,11])/A[11]
F[11,69]=(A[69]*F[69,11])/A[11]
F[11,70]=(A[70]*F[70,11])/A[11]
F[11,71]=(A[71]*F[71,11])/A[11]
F[11,72]=(A[72]*F[72,11])/A[11]
F[11,73]=(A[73]*F[73,11])/A[11]
F[11,58]=(A[58]*F[58,11])/A[11]
F[11,54]=(A[54]*F[54,11])/A[11]

```

```

F[11,55]=(A[55]*F[55,11])/A[11]
F[11,56]=(A[56]*F[56,11])/A[11]
F[11,57]=(A[57]*F[57,11])/A[11]
F[11,23]=(A[23]*F[23,11])/A[11]
F[11,28]=(A[28]*F[28,11])/A[11]
F[11,26]=(A[26]*F[26,11])/A[11]
F[11,48]=(A[48]*F[48,11])/A[11]
F[11,53]=(A[53]*F[53,11])/A[11]
F[11,22]=(A[22]*F[22,11])/A[11]
F[11,14]=(A[14]*F[14,11])/A[11]
F[11,21]=(A[21]*F[21,11])/A[11]
F[11,20]=(A[20]*F[20,11])/A[11]
F[11,18]=(A[18]*F[18,11])/A[11]
F[11,19]=(A[19]*F[19,11])/A[11]
F[11,4]=1-np.sum(F[11,:])

```

#Templador esquina derecha espalda

```

F[9,2]=(A[2]*F[2,9])/A[9]
F[9,3]=(A[3]*F[3,9])/A[9]

```

```

F[9,44]=(A[44]*F[44,9])/A[9]
F[9,45]=(A[45]*F[45,9])/A[9]
F[9,46]=(A[46]*F[46,9])/A[9]
F[9,47]=(A[47]*F[47,9])/A[9]
F[9,48]=(A[48]*F[48,9])/A[9]
F[9,49]=(A[49]*F[49,9])/A[9]
F[9,50]=(A[50]*F[50,9])/A[9]
F[9,51]=(A[51]*F[51,9])/A[9]
F[9,52]=(A[52]*F[52,9])/A[9]
F[9,53]=(A[53]*F[53,9])/A[9]
F[9,54]=(A[54]*F[54,9])/A[9]
F[9,55]=(A[55]*F[55,9])/A[9]
F[9,56]=(A[56]*F[56,9])/A[9]
F[9,57]=(A[57]*F[57,9])/A[9]
F[9,58]=(A[58]*F[58,9])/A[9]
F[9,59]=(A[59]*F[59,9])/A[9]
F[9,60]=(A[60]*F[60,9])/A[9]
F[9,61]=(A[61]*F[61,9])/A[9]
F[9,62]=(A[62]*F[62,9])/A[9]
F[9,63]=(A[63]*F[63,9])/A[9]
F[9,64]=(A[64]*F[64,9])/A[9]
F[9,65]=(A[65]*F[65,9])/A[9]
F[9,66]=(A[66]*F[66,9])/A[9]
F[9,67]=(A[67]*F[67,9])/A[9]
F[9,68]=(A[68]*F[68,9])/A[9]
F[9,69]=(A[69]*F[69,9])/A[9]
F[9,70]=(A[70]*F[70,9])/A[9]
F[9,71]=(A[71]*F[71,9])/A[9]
F[9,72]=(A[72]*F[72,9])/A[9]
F[9,73]=(A[73]*F[73,9])/A[9]
F[9,39]=(A[39]*F[39,9])/A[9]
F[9,40]=(A[40]*F[40,9])/A[9]
F[9,41]=(A[41]*F[41,9])/A[9]
F[9,42]=(A[42]*F[42,9])/A[9]
F[9,43]=(A[43]*F[43,9])/A[9]
F[9,23]=(A[23]*F[23,9])/A[9]

```

```

F[9,28]=(A[28]*F[28,9])/A[9]
F[9,26]=(A[26]*F[26,9])/A[9]
F[9,33]=(A[33]*F[33,9])/A[9]
F[9,38]=(A[38]*F[38,9])/A[9]
F[9,25]=(A[25]*F[25,9])/A[9]
F[9,16]=(A[16]*F[16,9])/A[9]
F[9,17]=(A[17]*F[17,9])/A[9]
F[9,18]=(A[18]*F[18,9])/A[9]
F[9,20]=(A[20]*F[20,9])/A[9]
F[9,19]=(A[19]*F[19,9])/A[9]
F[9,4]=1-np.sum(F[9,:])

#Templador parte central

F[13,39]=(A[39]*F[39,13])/A[13]
F[13,40]=(A[40]*F[40,13])/A[13]
F[13,41]=(A[41]*F[41,13])/A[13]
F[13,42]=(A[42]*F[42,13])/A[13]
F[13,43]=(A[43]*F[43,13])/A[13]
F[13,69]=(A[69]*F[69,13])/A[13]
F[13,70]=(A[70]*F[70,13])/A[13]
F[13,71]=(A[71]*F[71,13])/A[13]
F[13,72]=(A[72]*F[72,13])/A[13]
F[13,73]=(A[73]*F[73,13])/A[13]
F[13,58]=(A[58]*F[58,13])/A[13]
F[13,54]=(A[54]*F[54,13])/A[13]
F[13,55]=(A[55]*F[55,13])/A[13]
F[13,56]=(A[56]*F[56,13])/A[13]
F[13,57]=(A[57]*F[57,13])/A[13]
F[13,23]=(A[23]*F[23,13])/A[13]
F[13,28]=(A[28]*F[28,13])/A[13]
F[13,26]=(A[26]*F[26,13])/A[13]
F[13,36]=ff_rec_par_dis(0.045,0.27+0.045,0.045,0.291+0.045,0.127,0.127*2,
0,0.045,0.103)
F[13,35]=ff_rec_par_dis(0.045,0.27+0.045,0.045,0.291+0.045,0.045,0.127,0,
0.045,0.103)
F[13,37]=F[13,35]
F[13,34]=ff_rec_par_dis(0.045,0.27+0.045,0.045,0.291+0.045,0,0.045,0,0.04
5,0.103)/2
F[13,38]=F[13,34]
F[13,51]=F[13,36]
F[13,50]=F[13,35]
F[13,52]=F[13,35]
F[13,49]=F[13,34]
F[13,53]=F[13,34]
F[13,25]=F[13,34]
F[13,22]=F[13,34]
F[13,27]=ff_rec_par_dis(0.045,0.27+0.045,0.045,0.291+0.045,0,0.045,0.045,
0.27+0.045,0.103)
F[13,64]=F[13,34]
F[13,68]=F[13,64]
F[13,66]=ff_rec_par_dis(0.045,0.27+0.045,0.045,0.291+0.045,0,0.045,0.12,0
.12*2,0.103)
F[13,65]=ff_rec_par_dis(0.045,0.27+0.045,0.045,0.291+0.045,0,0.045,0.045,
0.12,0.103)
F[13,67]=F[13,65]
F[13,4]=(A[4]*F[4,13])/A[13]

```

```

print (np.sum(F[20,:]))
print (np.sum(F))

# In[4]:

#Eucalyptus globulus
lam= 1 #aire estequiométrico
xc= 48.6
xh= 6.2
xs= 0
xn= 0.16
xo= 44.79
Vae= (22.4/0.21)*((xc/12.01)+(xh/4.032)-(xo/32))
nco2= xc/12.01
nh2o= xh/2.016
nn2= (0.79/22.4)*lam*Vae+(xn/28.014)
no2= (0.21/22.4)*(lam-1)*Vae
nt=nco2+nh2o+no2+nn2
yco2=nco2/nt
yh2o=nh2o/nt

print (yco2,yh2o)

# In[5]:

Lm = 3.6 * (((0.36*0.381*0.309)-(0.291*0.27*0.206))/(np.sum(A)))
*100#para dejarlo en cm
print(Lm)
#Se asume presión atmosférica dentro de la cámara, por ende los valores
de
# las presiones parciales de co2 y h2o coinciden con sus fracciones
molares

def leckner(Tgass,yco2=0,yh2o=0):
    Cco2=np.array([[ -3.9893,2.7669,-2.1081,0.39163],
                    [1.2710,-1.1090,1.0195,-0.21897],
                    [-0.23678,0.19731,-0.19544,0.044644]])
    Ch2o=np.array([[ -2.2118,-1.1987,0.035596],
                    [0.85667,0.93048,-0.14391],
                    [-0.10838,-0.17156,0.045915]])
    t=Tgass/1000 ### se tiene q cambiar
    if yco2!=0:
        C=Cco2
        pa=yco2
        Pe=1+0.28*pa
        if t<0.7:
            cuopaL=0.054/(t**2)
        else:
            cuopaL=0.225*t**2
        a=1+0.1/(t**1.45)
        b=0.23
        c=1.47

```

```

else:
    C=Ch2o
    pa=yh2o
    Pe=1+2.56*pa/(np.sqrt(t))
    cuopaL=13.2*(t**2)
    if t<0.75:
        a=2.144
    else:
        a=1.888-2.053*np.log10(t)
    b=1.1/(t**1.4)
    c=0.5
    e0=0
    for i in range(len(C)):
        for j in range(len(C[0])):
            e0+=float(C[i,j])*t**j*np.log10(pa*Lm)**i
    e0=np.exp(e0)
    e_e0=1-(a-1)*(1-Pe)/(a+b-1+Pe)*np.exp(-c*np.log10(cuopaL/(pa*Lm)**2))
    return e_e0*e0

#eh2o=leckner(yh2o=yh2o)
#eco2=leckner(yco2=yco2)
#xi=yh2o/(yco2+yh2o)

#deltae=(xi/(10.7+101*xi)-
0.0089*xi**10.4)*(np.log10((yh2o+yco2)*Lm)**2.76)
#eg=eco2+eh2o-deltae
#print (eg)

```

In[6]:

```

def Tss(T):
    asd=0
    for i in range (74):
        asd+=A[i]*T[i]
    asdasd=0
    for i in range (74):
        asdasd+=A[i]
    Ts= asd/asdasd
    return Ts

```

In[7]:

```

def Tgass(T):
    asd=0
    for i in range (0,5):
        asd+=A[i]*T[i]
    asdasd=0
    for i in range (0,5):
        asdasd+=A[i]
    for i in range (8,74):
        asd+=A[i]*T[i]
    for i in range (8,74):
        asdasd+=A[i]

```

```

Tgass= asd/asdasd
return Tgass

# In[8]:

def leckner_alfa(Ts,Lm2,yco2=0,yh2o=0):
    Cco2=np.array([[ -3.9893,2.7669,-2.1081,0.39163],
                    [1.2710,-1.1090,1.0195,-0.21897],
                    [-0.23678,0.19731,-0.19544,0.044644]])
    Ch2o=np.array([[ -2.2118,-1.1987,0.035596],
                    [0.85667,0.93048,-0.14391],
                    [-0.10838,-0.17156,0.045915]])

    t=Ts/1000
    if yco2!=0:
        C=Cco2
        pa=yco2
        Pe=1+0.28*pa
        if t<0.7:
            cuopaL=0.054/(t**2)
        else:
            cuopaL=0.225*t**2
        a=1+0.1/(t**1.45)
        b=0.23
        c=1.47
    else:
        C=Ch2o
        pa=yh2o
        Pe=1+2.56*pa/(np.sqrt(t))
        cuopaL=13.2*(t**2)
        if t<0.75:
            a=2.144
        else:
            a=1.888-2.053*np.log10(t)
            b=1.1/(t**1.4)
            c=0.5
    e0=0
    for i in range(len(C)):
        for j in range(len(C[0])):
            e0+=float(C[i,j])*t**j*np.log10(pa*Lm2)**i
    e0=np.exp(e0)
    e_e0=1-(a-1)*(1-Pe)/(a+b-1+Pe)*np.exp(-
c*np.log10(cuopaL/(pa*Lm2))**2)
    return e_e0*e0

# In[9]:

#Crear la matriz C
def Ce(taug):
    C=np.zeros((74,74))

```

```

d=np.identity(74)
for i in range(74):
    for j in range(74):
        C[i,j]=(1/emi[j])*(d[i,j]-(1-emi[j])*F[i,j]*taug)
return C

# In[10]:

def B(Ti,taug,Tgass,eg):
    b=np.zeros(74)
    d=np.identity(74)
    for i in range(74):
        for j in range(74):
            b[i]+=(d[i,j]-F[i,j]*taug)*sigma*Ti[j]**4
            b[i]-=eg*sigma*Tgass**4 #se tiene que cambiar
    return b

# In[11]:

def T_externa(calor):
    a= sigma*eme[8:]*A[8:]
    b= hext*A[8:]
    c=
    calor+sigma*eme[8:]*A[8:]*(Tinfinito[8:]**4)+hext*A[8:]*Tinfinito[8:]
    B= (c/a)*((a/b)**(4/3))
    a1= (B/3)**3
    a2= (a1+(1/256))**(1/2)
    a3= (a2+(1/16))**(1/3)
    a4= (a2-(1/16))**(1/3)
    K= (1/2)*(a3-a4)
    Y=((((4*K*K+B)**(1/2))-K)**(1/2))-(K**(1/2))
    Text = Y / ((a/b)**(1/3))
    return Text

# In[12]:

#Resistencias por conducción

res=np.zeros(74)
for i in range(74):
    res[i]=((esi[i]/ki[i])+(ese[i]/ke[i]))*(1/A[i])

# In[13]:

xi=yh2o/(yco2+yh2o)

```

```

deltae=(xi/(10.7+101*xi)-
0.0089*xi**10.4)*(np.log10((yh2o+yco2)*Lm)**2.76)

def iteracion(Ti,numit,rel):
    T=Ti.copy()
    for i in range(numit):
        Tgass1=Tgass(T)
        T[5:8]=Tgass1
        Ts=Tss(T)
        lecknerco2=leckner(Tgass1,yco2=yco2)
        lecknerh2o=leckner(Tgass1,yh2o=yh2o)
        eg=lecknerco2+lecknerh2o-deltae

        Lm2= Lm*(Ts/Tgass1)
        alfah2o=leckner_alfa(Ts,Lm2,yh2o=yh2o)
        alfaco2=leckner_alfa(Ts,Lm2,yco2=yco2)
        ddeltae=(xi/(10.7+101*xi)-
0.0089*xi**10.4)*(np.log10((yh2o+yco2)*Lm2)**2.76)
        alfa=alfaco2+alfah2o-ddeltae
        taug=1-alfa
        q=np.linalg.solve(Ce(taug),B(T,taug,Tgass1,eg))
        Q=-(q*A)

        Text= T_externa(Q[8:])
        Taux= (Q[8:]*res[8:])+Text
        T[8:]= (rel*Taux+(1-rel)*T[8:])

    Text2=np.zeros_like(T)
    Text2[8:]=Text
    return T,Text2,Q, q,eg, Tgass1, alfa, Ts

# In[14]:

Tint,Text2,Q,q,eg,Tgass1,alfa,Ts= iteracion(Ti,500,0.01)

# In[15]:

#Temperaturas interiores

wa1=0 #base
waa1=0
wa2=0 #izquierda
waa2=0
wa3=0 #derecha
waa3=0
wa4=0 #espalda
waa4=0

```

```

wa5=0
waa5=0
wa6=0
waa6=0

for i in range (14,22):
    wa1+=A[i]*Tint[i]
    waa1+=A[i]
pbase= wa1/waa1

for i in range (29,44):
    wa2+=A[i]*Tint[i]
    waa2+=A[i]
pizquierda= wa2/waa2

for i in range (44,59):
    wa3+=A[i]*Tint[i]
    waa3+=A[i]
pderecha= wa3/waa3

for i in range (59,74):
    wa4+=A[i]*Tint[i]
    waa4+=A[i]
pespalda= wa4/waa4

for i in range (27,29):
    wa5+=A[i]*Tint[i]
    waa5+=A[i]
pvidrio= wa5/waa5

for i in range (8,14):
    wa6+=A[i]*Tint[i]
    waa6+=A[i]
ptemplador= wa6/waa6

print (pbase-273,pizquierda-273,pderecha-273,pespalda-273,pvidrio-
273,ptemplador-273)
#print (np.sum(Tint[29:34]),np.sum(Tint[44:49]))
#print (Tint[29]-273,Tint[30]-273,Tint[39]-273)

#print (q[13],q[41])
#print (res[13],res[41])

# In[16]:

#Temperaturas exteriores

ra1=0 #base
raa1=0
ra2=0 #izquierda
raa2=0
ra3=0 #derecha
raa3=0

```

```

ra4=0 #espalda
raa4=0
ra5=0
raa5=0
ra6=0
raa6=0

for i in range (14,22):
    ra1+=A[i]*Text2[i]
    raa1+=A[i]
pbase_ext= ra1/raa1

for i in range (29,44):
    ra2+=A[i]*Text2[i]
    raa2+=A[i]
pizquierda_ext= ra2/raa2

for i in range (44,59):
    ra3+=A[i]*Text2[i]
    raa3+=A[i]
pderecha_ext= ra3/raa3

for i in range (59,74):
    ra4+=A[i]*Text2[i]
    raa4+=A[i]
pespalda_ext= ra4/raa4

for i in range (27,29):
    ra5+=A[i]*Text2[i]
    raa5+=A[i]
pvidrio_ext= ra5/raa5

for i in range (8,14):
    ra6+=A[i]*Text2[i]
    raa6+=A[i]
ptemplador_ext= ra6/raa6

print (pbase_ext-273,pizquierda_ext-273,pderecha_ext-273,pespalda_ext-
273,pvidrio_ext-273,ptemplador_ext-273)
#print (Tint[12]-273)

# In[17]:

tempis = np.array([(Tint[43]*A[43]+Tint[42]*A[42])/(A[43]+A[42]),
Tint[41], (Tint[40]*A[40]+Tint[39]*A[39])/(A[40]+A[39])],

[(Tint[38]*A[38]+Tint[37]*A[37])/(A[38]+A[37]),Tint[36],
(Tint[35]*A[35]+Tint[34]*A[34])/(A[35]+A[34])],

[(Tint[33]*A[33]+Tint[32]*A[32])/(A[33]+A[32]),Tint[31],
(Tint[30]*A[30]+Tint[29]*A[29])/(A[30]+A[29])])

tempiti=np.round(tempis-273,decimals=1)

```

```

fig, ax1 = plt.subplots(nrows=1, figsize=(9,7))

im=ax1.imshow(tempiti,cmap="Wistia", aspect='auto')
# Loop over data dimensions and create text annotations.
for i in range(0,3):
    for j in range(0,3):
        text = ax1.text(j, i, tempiti[i, j],
                        ha="center", va="center", color="k")

ax1.set_title('Temperaturas interiores cara izquierda °C')
plt.setp(ax1.get_xticklabels(), visible=False)
plt.setp(ax1.get_yticklabels(), visible=False)
cbar = ax1.figure.colorbar(im)
plt.tight_layout()
plt.show()

# In[18]:

textt = np.array([(Text2[43]*A[43]+Text2[42]*A[42])/(A[43]+A[42]),
Text2[41], (Text2[40]*A[40]+Text2[39]*A[39])/(A[40]+A[39])],

[(Text2[38]*A[38]+Text2[37]*A[37])/(A[38]+A[37]),Text2[36],
(Text2[35]*A[35]+Text2[34]*A[34])/(A[35]+A[34])],

[(Text2[33]*A[33]+Text2[32]*A[32])/(A[33]+A[32]),Text2[31],
(Text2[30]*A[30]+Text2[29]*A[29])/(A[30]+A[29])])

texttt=np.round(textt-273,decimals=1)

fig, ax1 = plt.subplots(nrows=1, figsize=(9,7))

im=ax1.imshow(texttt,cmap="Wistia", aspect='auto')
# Loop over data dimensions and create text annotations.
for i in range(0,3):
    for j in range(0,3):
        text = ax1.text(j, i, texttt[i, j],
                        ha="center", va="center", color="k")

ax1.set_title('Temperaturas exteriores cara izquierda °C')
plt.setp(ax1.get_xticklabels(), visible=False)
plt.setp(ax1.get_yticklabels(), visible=False)
cbar = ax1.figure.colorbar(im)
plt.tight_layout()
plt.show()

# In[19]:

Qis = np.array([(Q[43]+Q[42], Q[41], Q[40]+Q[39]],
                [Q[38]+Q[37],Q[36], Q[35]+Q[34]],
                [Q[33]+Q[32],Q[31], Q[30]+Q[29]]])

Qisi=np.round(Qis,decimals=1)

```

```

fig, ax1 = plt.subplots(nrows=1, figsize=(9,7))

im=ax1.imshow(Qisi,cmap="Wistia", aspect='auto')
# Loop over data dimensions and create text annotations.
for i in range(0,3):
    for j in range(0,3):
        text = ax1.text(j, i, Qisi[i, j],
                        ha="center", va="center", color="k")

ax1.set_title('Flujo de calor recibido cara izquierda W ')
plt.setp(ax1.get_xticklabels(), visible=False)
plt.setp(ax1.get_yticklabels(), visible=False)
cbar = ax1.figure.colorbar(im)
plt.tight_layout()
plt.show()

# In[20]:

temped = np.array([(Tint[58]*A[58]+Tint[57]*A[57])/(A[58]+A[57]),
Tint[56], (Tint[55]*A[55]+Tint[54]*A[54])/(A[55]+A[54])],

[(Tint[53]*A[53]+Tint[52]*A[52])/(A[53]+A[52]),Tint[51],
(Tint[50]*A[50]+Tint[49]*A[49])/(A[50]+A[49])],

[(Tint[48]*A[48]+Tint[47]*A[47])/(A[48]+A[47]),Tint[46],
(Tint[45]*A[45]+Tint[44]*A[44])/(A[45]+A[44])])

tempedti=np.round(temped-273,decimals=1)

fig, ax1 = plt.subplots(nrows=1, figsize=(9,7))

im=ax1.imshow(tempedti,cmap="Wistia", aspect='auto')
# Loop over data dimensions and create text annotations.
for i in range(0,3):
    for j in range(0,3):
        text = ax1.text(j, i, tempedti[i, j],
                        ha="center", va="center", color="k")

ax1.set_title('Temperaturas interiores cara derecha °C')
plt.setp(ax1.get_xticklabels(), visible=False)
plt.setp(ax1.get_yticklabels(), visible=False)
cbar = ax1.figure.colorbar(im)
plt.tight_layout()
plt.show()

# In[21]:

tempedd = np.array([(Text2[58]*A[58]+Text2[57]*A[57])/(A[58]+A[57]),
Text2[56], (Text2[55]*A[55]+Text2[54]*A[54])/(A[55]+A[54])],

[(Text2[53]*A[53]+Text2[52]*A[52])/(A[53]+A[52]),Text2[51],
(Text2[50]*A[50]+Text2[49]*A[49])/(A[50]+A[49])],

```

```

[ (Text2[48]*A[48]+Text2[47]*A[47])/(A[48]+A[47]),Text2[46],
 (Text2[45]*A[45]+Text2[44]*A[44])/(A[45]+A[44])]])

tempetex=np.round(tempedd-273,decimals=1)

fig, ax1 = plt.subplots(nrows=1, figsize=(9,7))

im=ax1.imshow(tempetex,cmap="Wistia", aspect='auto')
# Loop over data dimensions and create text annotations.
for i in range(0,3):
    for j in range(0,3):
        text = ax1.text(j, i, tempetex[i, j],
                        ha="center", va="center", color="k")

ax1.set_title('Temperaturas exteriores cara derecha °C')
plt.setp(ax1.get_xticklabels(), visible=False)
plt.setp(ax1.get_yticklabels(), visible=False)
cbar = ax1.figure.colorbar(im)
plt.tight_layout()
plt.show()

# In[22]:

Qed = np.array([[Q[58]+Q[57], Q[56], Q[55]+Q[54]], [Q[53]+Q[52], Q[51],
Q[50]+Q[49]], [Q[48]+Q[47], Q[46], Q[45]+Q[44]]])

Qedd=np.round(Qed,decimals=1)

fig, ax1 = plt.subplots(nrows=1, figsize=(9,7))

im=ax1.imshow(Qedd,cmap="Wistia", aspect='auto')
# Loop over data dimensions and create text annotations.
for i in range(0,3):
    for j in range(0,3):
        text = ax1.text(j, i, Qedd[i, j],
                        ha="center", va="center", color="k")

ax1.set_title('Flujo de calor recibido cara derecha W')
plt.setp(ax1.get_xticklabels(), visible=False)
plt.setp(ax1.get_yticklabels(), visible=False)
cbar = ax1.figure.colorbar(im)
plt.tight_layout()
plt.show()

# In[23]:

tempes = np.array([(Tint[73]*A[73]+Tint[72]*A[72])/(A[73]+A[72]),
Tint[71], (Tint[70]*A[70]+Tint[69]*A[69])/(A[70]+A[69])],

[ (Tint[68]*A[68]+Tint[67]*A[67])/(A[68]+A[67]),Tint[66],
 (Tint[65]*A[65]+Tint[64]*A[64])/(A[65]+A[64])],

```

```

[(Tint[63]*A[63]+Tint[62]*A[62])/(A[63]+A[62]),Tint[61],
(Tint[60]*A[60]+Tint[59]*A[59])/(A[60]+A[59])])

tempesti=np.round(tempes-273,decimals=1)

fig, ax1 = plt.subplots(nrows=1, figsize=(9,7))

im=ax1.imshow(tempesti,cmap="Wistia", aspect='auto')
# Loop over data dimensions and create text annotations.
for i in range(0,3):
    for j in range(0,3):
        text = ax1.text(j, i, tempesti[i, j],
                        ha="center", va="center", color="k")

ax1.set_title('Temperaturas interiores espalda °C')
plt.setp(ax1.get_xticklabels(), visible=False)
plt.setp(ax1.get_yticklabels(), visible=False)
cbar = ax1.figure.colorbar(im)
plt.tight_layout()
plt.show()

# In[24]:

tempess = np.array([[(Text2[73]*A[73]+Text2[72]*A[72])/(A[73]+A[72]),
Text2[71], (Text2[70]*A[70]+Text2[69]*A[69])/(A[70]+A[69])],

[(Text2[68]*A[68]+Text2[67]*A[67])/(A[68]+A[67]),Text2[66],
(Text2[65]*A[65]+Text2[64]*A[64])/(A[65]+A[64])],

[(Text2[63]*A[63]+Text2[62]*A[62])/(A[63]+A[62]),Text2[61],
(Text2[60]*A[60]+Text2[59]*A[59])/(A[60]+A[59])]])

tempestex=np.round(tempess-273,decimals=1)

fig, ax1 = plt.subplots(nrows=1, figsize=(9,7))

im=ax1.imshow(tempestex,cmap="Wistia", aspect='auto')
# Loop over data dimensions and create text annotations.
for i in range(0,3):
    for j in range(0,3):
        text = ax1.text(j, i, tempestex[i, j],
                        ha="center", va="center", color="k")

ax1.set_title('Temperaturas exteriores espalda °C')
plt.setp(ax1.get_xticklabels(), visible=False)
plt.setp(ax1.get_yticklabels(), visible=False)
cbar = ax1.figure.colorbar(im)
plt.tight_layout()
plt.show()

# In[25]:

```

```
Qes = np.array([[Q[73]+Q[72], Q[71], Q[70]+Q[69]], [Q[68]+Q[67], Q[66],
Q[65]+Q[64]], [Q[63]+Q[62], Q[61], Q[60]+Q[59]]])
```

```
Qess=np.round(Qes,decimals=1)
```

```
fig, ax1 = plt.subplots(nrows=1, figsize=(9,7))
```

```
im=ax1.imshow(Qess,cmap="Wistia", aspect='auto')
```

```
# Loop over data dimensions and create text annotations.
```

```
for i in range(0,3):
```

```
    for j in range(0,3):
```

```
        text = ax1.text(j, i, Qess[i, j],
                        ha="center", va="center", color="k")
```

```
ax1.set_title('Flujo de calor recibido espalda W')
```

```
plt.setp(ax1.get_xticklabels(), visible=False)
```

```
plt.setp(ax1.get_yticklabels(), visible=False)
```

```
cbar = ax1.figure.colorbar(im)
```

```
plt.tight_layout()
```

```
plt.show()
```

```
# In[26]:
```

```
print('La emisividad del gas es', eg)
```

```
print('La absorptividad del gas es', alfa)
```

```
print('La transmisividad del gas es', 1-alfa)
```

```
print('La temperatura del gas es', np.round(Tgass1-273,decimals=1),
      ' [°C]')
```

```
print('El promedio de la temperatura interior de la cara izquierda es',
      np.round(pizquierda-273,decimals=1), ' [°C]')
```

```
print('El promedio de la temperatura exterior de la cara izquierda es',
      np.round(pizquierda_ext-273,decimals=1), ' [°C]')
```

```
print('El flujo de calor total recibido de la cara izquierda es ',
      np.round(np.sum(Q[29:44]),decimals=1), ' [W] ')
```

```
print('El promedio de la temperatura interior de la cara derecha es',
      np.round(pderecha-273,decimals=1), ' [°C]')
```

```
print('El promedio de la temperatura exterior de la cara derecha es',
      np.round(pderecha_ext-273,decimals=1), ' [°C]')
```

```
print('El flujo de calor total recibido de la cara derecha es ',
      np.round(np.sum(Q[44:59]),decimals=1), ' [W] ')
```

```
print('El promedio de la temperatura interior de la espalda es',
      np.round(pespalda-273,decimals=1), ' [°C]')
```

```
print('El promedio de la temperatura exterior de la espalda es',
      np.round(pespalda_ext-273,decimals=1), ' [°C]')
```

```
print('El flujo de calor total recibido de la espalda es ',
      np.round(np.sum(Q[59:74]),decimals=1), ' [W] ')
```

```
print('La temperatura del templador es', np.round(ptemplador-
273,decimals=1), ' [°C]')
```

```
print('La temperatura del vidrio es', np.round(pvidrio_ext-
273,decimals=1), ' [°C]')
```

```
# In[27]:

print (-np.sum(Q[27:29])/np.sum(Q[0:5]))

# In[28]:

print (np.sum(Q[27:29]))

# In[29]:

print (np.sum(Q[5:74]))
print (Q[5:74])
```