AVANTE
Revista de Humanidades y ciencias sociales
ISSN 0719-9740 ON LINE

PP. 71-79

OPEN ACCESS

Vol-04 /Núm. Especial 1 2024

La densidad del aire seco y su impacto en el cambio climático

DRY AIR DENSITY AND INTS IMPACT ON CLIMATE CHANGE

Recibido: 03-06-2024

Aceptación:16-10-2024

DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.14025581

Alejandro Araneda Becerra

https://orcid.org/0009-0008-6010-6313

alejandroaraneda@unach.cl

RESUMEN

La densidad del aire seco juega un papel muy importante en el contexto del cambio climático, ya que afecta procesos clave en la atmósfera y en la dinámica climática. Aunque el aire seco no contiene vapor de agua, su densidad está influenciada por la temperatura y la composición de otros gases, como el dióxido de carbono (CO_2). A medida que el cambio climático provoca un aumento en las temperaturas, el aire seco se vuelve menos denso, lo que contribuye a una serie de efectos en el ecosistema, la agricultura y otros sectores clave. La retroalimentación entre la disminución de la densidad del aire seco y el calentamiento global intensifica los desafíos asociados al cambio climático. El objetivo de este estudio fue calcular la densidad del aire seco a partir de la ecuación de estado de Van der Waals a diferentes temperaturas y a presión atmosférica constante, considerando el incremento observado de la temperatura del aire a nivel superficial, desde el año 1985 al actual.

Palabras Claves: Densidad, volumen específico; temperatura; presión atmosférica; aire seco.

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional

AVANTE
Revista de Humanidades y ciencias sociales
ISSN 0719-9740 ON LINE

PP. 71-79

OPEN ACCESS

Vol-04 /Núm. Especial 1 2024

Key words:

Density, specific volumen, temperatura, atmospheric pressure, dry air.

Abstract

Dry air density plays a very important role in the context of climate change, as it affects key processes in the atmosphere and climate dynamics. Although dry air does not contain water vapor, its density is influenced by temperature and the composition of other gases, such as carbon dioxide (CO2). As climate change causes temperatures to rise, dry air becomes less dense, contributing to a range of impacts on ecosystems, agriculture, and other key sectors. The feedback between decreasing dry air density and global warming intensifies the challenges associated with climate change. The objective of this study was to calculate dry air density from the Van der Waals equation of state at different temperatures and constant atmospheric pressure, considering the observed increase in surface air temperature from 1985 to the present.

INTRODUCCIÓN

El cambio climático está asociado con un incremento en las temperaturas globales. A medida que el aire se calienta, su densidad disminuye. El aire caliente es menos denso que el aire frío, lo que tiene efectos significativos en la circulación atmosférica y los patrones meteorológicos. En la circulación atmosférica, el aire menos denso sube y provoca cambios en los patrones de vientos y corrientes de aire, modificando la forma en que el calor y la energía se distribuyen en la atmósfera lo que puede intensificar fenómenos climáticos como huracanes, tormentas y sequías. En cuanto a los efectos locales, el aire seco más cálido y menos denso puede aumentar la frecuencia de olas de calor, especialmente en regiones áridas y semiáridas. Esto incrementa el riesgo de incendios forestales, disminuye la disponibilidad de agua por efecto de la sequía y afecta los ecosistemas locales. Aunque el aire seco no contiene vapor de agua, está compuesto por nitrógeno gaseoso (N_2), oxígeno (O_2), dióxido de carbono (CO_2) y otros gases traza. El aumento en la concentración de CO_2 reduce la capacidad del aire para disipar calor, lo que contribuye al calentamiento global.

El cambio en la densidad del aire seco también afecta el ciclo del agua y la disponibilidad de recursos hídricos, impactando negativamente la agricultura en áreas que dependen de precipitaciones mínimas o sistemas de irrigación que se ven reducidos por el

clima más seco y cálido. En los procesos industriales, la disminución de la densidad puede afectar la eficiencia del proceso, por ejemplo, en los sistemas de calefacción o refrigeración, el aire seco menos denso reduce la transferencia de calor, lo que puede requerir más energía para alcanzar los mismos niveles de calentamiento o enfriamiento. Cuando el aire es menos denso hay menos moléculas en un determinado volumen que pueden llevar energía térmica, lo que reduce la tasa de transferencia de calor (Incropera y De Witt, 1999).

El objetivo de este estudio es calcular la densidad del aire seco a diferentes temperaturas y a presión atmosférica constante. Para poder calcular la densidad, se requiere primero calcular el volumen específico del aire seco a partir de la ecuación de estado de Van der Waals, para así comparar los resultados con el incremento de temperatura del aire a nivel superficial, desde el año 1985 al actual.

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

El aire seco es el aire que no contiene vapor de agua o humedad significativa. Se compone principalmente de una mezcla de gases, donde el nitrógeno (N_2) y el oxígeno (O_2) son los componentes predominantes, junto con pequeñas cantidades de otros gases, como dióxido de carbono (CO_2) y gases traza, como indica la siguiente tabla:

Tabla 1: Composición química del aire seco:

Nombre	Símbolo Químico	% en Peso	% en Volumen
Nitrógeno	N_2	75.47	78.03
Oxígeno	O_2	23.19	20.99
Bióxido de carbono	CO_2	0.04	0.03
Hidrógeno	H_2	0.00	0.01
Gases raros	----	1.30	0.94

Fuente: Katz, 2011

La densidad del aire seco es la cantidad de masa por unidad de volumen de aire que no contiene vapor de agua (aire sin humedad). Esta densidad depende principalmente de la presión y la temperatura del aire. La temperatura ambiental es un factor clave para garantizar una sensación térmica confortable para las personas. En los sistemas de climatización y diseño de edificaciones, generalmente se considera un rango temperatura ambiental de 20 a 24°C.

La siguiente tabla muestra la densidad del aire seco a temperaturas de 12 a 17°C y presión atmosférica de 1 atm (101,33 kPa). Se consideran esas temperaturas ya que la temperatura media global se encuentra en ese rango (Solomon et al., 2024).

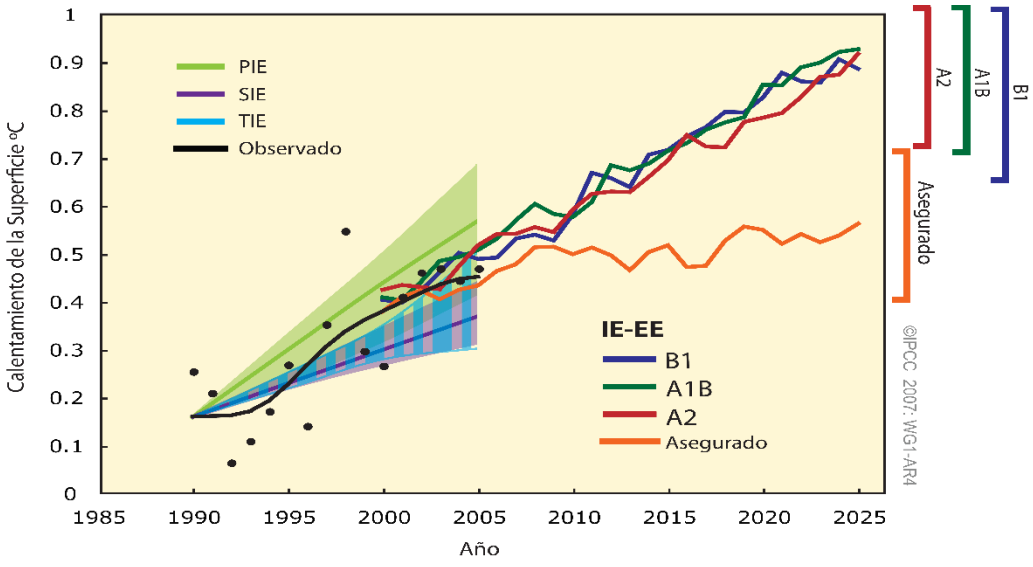
Tabla 2: Propiedades físicas del aire seco:

TEMP. °C	Volumen Específico (m³/kg)	Densidad (kg/m³)	Entalpía (kcal/kg)
12	0.8076	1.2381	7.1860
13	0.8104	1.2339	7.3983
14	0.8131	1.2297	7.6716
15	0.8159	1.2256	7.9116
16	0.8188	1.2213	8.1183
17	0.8217	1.2168	8.3972

Fuente: Çengel, 2007

El calentamiento medio mundial (o calentamiento global) es el aumento sostenido de la temperatura promedio de la tierra, específicamente la temperatura atmosférica y de los océanos. Este fenómeno es causado principalmente por el incremento en las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, como el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4) y el óxido nitroso (N_2O). Estos gases retienen el calor en la atmósfera, lo que lleva a un aumento gradual de las temperaturas globales. La siguiente gráfica muestra las proyecciones del calentamiento medio mundial desde 1985 al actual.

Figura 1: Proyecciones del calentamiento medio mundial. Fuente: Solomon et al., 2024



AVANTE
Revista de Humanidades y ciencias sociales
ISSN 0719-9740 ON LINE

PP. 71-79
OPEN ACCESS
Vol-04 /Núm. Especial 1 2024

DISEÑO METODOLÓGICO

La ley de los gases ideales está dada por la ecuación de estado:

$$Pv = RT \quad [1]$$

Donde:

P = presión absoluta (kPa)
v = volumen específico del gas (m^3kmol^{-1})
R = constante universal de los gases (kJ $kmol^{-1}K^{-1}$)
T = temperatura absoluta (K)

Aunque esta ecuación de estado es ampliamente usada, sólo es exacta en un rango limitado de presión y temperatura. Una ecuación alternativa para aproximar el comportamiento de los gases reales, es la ecuación de estado de Van der Waals:

$$\left(P + \frac{a}{v^2}\right)(v - b) = RT \quad [2]$$

La ecuación de Van der Waals también puede ser expresada como un polinomio cúbico:

$$Pv^3 - (Pb + RT)v^2 + av - ab = 0 \quad [3]$$

Los valores de la constante de atracción molecular (a) y del volumen disponible de un kilo-mol de moléculas (b) se pueden determinar a partir de las propiedades críticas de los gases, dadas por las siguientes ecuaciones:

$$a = \frac{27R^2T_C^2}{64P_C} \quad [4]$$

$$b = \frac{RT_C}{8P_C} \quad [5]$$

Donde:

P_C = presión crítica del gas (kPa)

T_C = temperatura crítica del gas (K)

La constante de los gases para el aire seco, puede calcularse como:

$$R_G = \frac{R}{M_G} \quad [6]$$

Donde:

R = constante universal de los gases (kJ $kmol^{-1}K^{-1}$)
M_G = peso molecular aparente del aire seco (kg $kmol^{-1}$)
R_G = constante de los gases para el aire seco (kJ $kg^{-1}K^{-1}$)

El peso molecular aparente del aire seco es de 28,965 kg/kmol.

Tabla 3: Datos de propiedades físicas del aire seco.

Parámetro físico	Valor	Unidad de medida
P	101,33	kPa
T	273,15	K
P_C	3769,5	kPa
T_C	132,65	K
R	8,3145	kJ $kmol^{-1}K^{-1}$
M_G	28,965	kg $kmol^{-1}$
R_G	0,2871	kJ $kg^{-1}K^{-1}$
a	0,1623	kPa m^6kg^{-2}
b	0,0013	m^3kg^{-1}

Fuente: Valderrama, 2010

Una vez calculado el volumen específico del aire seco mediante la ecuación de estado de Van der Waals, se obtiene la densidad del aire mediante la siguiente ecuación:

$$\rho_G = \frac{1}{v_G} \quad [7]$$

Donde:

ρ_G = densidad del aire seco (kg m^{-3})
v_G = volumen específico del aire seco (m^3kg^{-1})

Se trabajará con una temperatura media anual de la ciudad de Chillán de 13°C, con un incremento de 0,125°C a presión atmosférica constante de 101,33 kPa para ir comparando los valores de la densidad del aire seco calculados hasta llegar a una temperatura de 14°C. El

valor de 0,125°C es el aumento aproximado cada 5 años de la temperatura media global proyectada de acuerdo a la figura 1.

Se aplicará el complemento Solver de Microsoft Excel® para calcular el volumen específico del aire seco a partir de la ecuación de estado de Van der Waals. Se necesita de un "valor inicial" de volumen específico que se obtiene de la ecuación de estado de los gases ideales:

$$v_G^{(0)} = \frac{R_G T}{P} \quad [8]$$

Donde:

$v_G^{(0)}$ = volumen específico del aire seco inicial (m^3kg^{-1})
R_G = constante de los gases para el aire seco ($kJ\ kg^{-1}K^{-1}$)
T = temperatura absoluta (K)
P = presión absoluta (kPa)

La función cúbica está dada por:

$$f(v_G) = Pv_G^3 - (Pb + R_G T)v_G^2 + av_G - ab \quad [9]$$

Se calcula el volumen específico del aire seco igualando a cero la función cúbica que al final corresponde a la ecuación de estado de Van der Waals:

$$f(v_G) = 0 \quad [10]$$

$$Pv_G^3 - (Pb + R_G T)v_G^2 + av_G - ab = 0 \quad [11]$$

El método numérico para calcular el volumen específico del aire seco de la ecuación de estado de Van der Waals, es el método del gradiente reducido generalizado (GRG) que permite calcular raíces de ecuaciones no lineales (Chapra y Canale, 2007).

RESULTADOS

Se realizaron los cálculos aplicando el complemento Solver de Microsoft Excel®. El método de resolución "GRG Nonlinear", utiliza el algoritmo del gradiente reducido

generalizado para resolver ecuaciones no lineales. La siguiente tabla presenta la densidad del aire seco a temperaturas de 13 a 14°C con un incremento de 0,125°C y a presión atmosférica de 101,33 kPa.

Tabla 4: Densidad del aire seco obtenida a partir de la ecuación de Van der Waals:

Temperatura (°C)	**Volumen específico (m^3kg^{-1})**	**Densidad del aire seco ($kg\ m^{-3}$)**
13,000	0,8101	1,2344
13,125	0,8104	1,2339
13,250	0,8108	1,2334
13,375	0,8111	1,2328
13,500	0,8115	1,2323
13,625	0,8119	1,2317
13,750	0,8122	1,2312
13,875	0,8126	1,2307
14,000	0,8129	1,2301

Fuente: Elaboración propia, 2024

La densidad del aire seco disminuye a medida que aumenta la temperatura ambiental debido a que el aire tiende a expandirse. Entre las temperaturas medias globales de 13 y 14°C, hay una diferencia de densidad de 0,0043 kg m^{-3} que se traduce en un 0,3483% de cambio en la densidad del aire seco proyectado.

CONCLUSIONES

La densidad del aire seco está estrechamente ligado a la temperatura ambiental y la presión atmosférica. A medida que las temperaturas globales continúan en ascenso, la densidad del aire disminuye, lo que genera una serie de consecuencias como aumento de olas de calor, riesgos de incendios forestales, disminución de la disponibilidad de agua por efecto de la sequía, efectos en los ecosistemas locales y la agricultura, en la eficiencia energética y los procesos industriales. La adaptación a estos cambios será crucial en los próximos años, requiriendo de innovaciones tecnológicas y ajustes en la planificación urbana, agrícola, industrial y ambiental.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Çengel, Y. 2007. Transferencia de calor y masa. 3ª ed. Editorial McGraw-Hill/Interamericana, México.

Chapra S., R. Canale. 2007. Métodos numéricos para ingenieros. 5ª ed. Editorial McGraw-Hill/Interamericana, México.

Incropera, F., D. De Witt. 1999. Fundamentos de transferencia de calor. 4ª ed. Editorial Pearson Educación, México.

Katz, M. 2011. Materiales y materias primas. Aire y sus propiedades (Capítulo 2). INET, Argentina.

Solomon, S., D. Qin, and M. Manning. 2024. Informe aceptado sobre cambio climático. USA.

Valderrama, J. 2010. The legacy of Johannes Diderick Van del Walls, a hundred years after is Nobel Prize for physics. The Journal Supercritical Fluids 55:415-420.

Memoria de cálculo

Cálculo de la densidad del aire seco						
T (°C)	T (K)	P (kPa)	$v_G^{(0)}$ (m^3kg^{-1})	v_G (m^3kg^{-1})	$f(v_G)$	ρ_G ($kg\,m^{-3}$)
13,000	286,15	101,33	0,8108	0,8101	0,0000	1,2344
13,125	286,28	101,33	0,8111	0,8104	0,0000	1,2339
13,250	286,40	101,33	0,8115	0,8108	0,0000	1,2334
13,375	286,53	101,33	0,8118	0,8111	0,0000	1,2328
13,500	286,65	101,33	0,8122	0,8115	0,0000	1,2323
13,625	286,78	101,33	0,8125	0,8119	0,0000	1,2317
13,750	286,90	101,33	0,8129	0,8122	0,0000	1,2312
13,875	287,03	101,33	0,8132	0,8126	0,0000	1,2307
14,000	287,15	101,33	0,8136	0,8129	0,0000	1,2301

Microsoft Excel 16.0 Informe de respuestas
Hoja de cálculo: [Taller 1.xls]Hoja1
Informe creado: 20-10-2024 12:31:45
Resultado: Solver encontró una solución. Se cumplen todas las restricciones y condiciones óptimas.
Motor de Solver
Motor: GRG Nonlinear
Tiempo de la solución: 0,015 segundos.
Iteraciones: 1 Subproblemas: 0
Opciones de Solver
Tiempo máximo Ilimitado, Iteraciones Ilimitado, Precision 0,000001, Usar escala automática
Convergencia 0,0001, Tamaño de población 100, Valor de inicialización aleatorio 0, Adelantada de derivados, Requerir límites
Máximo de subproblemas Ilimitado, Máximo de soluciones de enteros Ilimitado, Tolerancia de enteros 1%, Asumir no negativo

Celda objetivo (Valor de)

Celda	Nombre	Valor original	Valor final
F3		0,0448	0,0000

Celdas de variables

Celda	Nombre	Valor original	Valor final	Entero
E3		0,8108	0,8101	Continuar

Restricciones

Celda	Nombre	Valor de la celda	Fórmula	Estado	Demora
F3		0,0000	F3=0	Vinculante	0

Microsoft Excel 16.0 Informe de respuestas
Hoja de cálculo: [Taller 1.xls]Hoja1
Informe creado: 20-10-2024 12:32:43
Resultado: Solver encontró una solución. Se cumplen todas las restricciones y condiciones óptimas.
Motor de Solver
Motor: GRG Nonlinear
Tiempo de la solución: 0,015 segundos.
Iteraciones: 1 Subproblemas: 0
Opciones de Solver
Tiempo máximo Ilimitado, Iteraciones Ilimitado, Precision 0,000001, Usar escala automática
Convergencia 0,0001, Tamaño de población 100, Valor de inicialización aleatorio 0, Adelantada de derivados, Requerir límites
Máximo de subproblemas Ilimitado, Máximo de soluciones de enteros Ilimitado, Tolerancia de enteros 1%, Asumir no negativo

Celda objetivo (Valor de)

Celda	Nombre	Valor original	Valor final
F4		0,0448	0,0000

Celdas de variables

Celda	Nombre	Valor original	Valor final	Entero
E4		0,8111	0,8104	Continuar

Restricciones

Celda	Nombre	Valor de la celda	Fórmula	Estado	Demora
F4		0,0000	F4=0	Vinculante	0

Microsoft Excel 16.0 Informe de respuestas
Hoja de cálculo: [Taller 1.xls]Hoja1
Informe creado: 20-10-2024 12:33:45
Resultado: Solver encontró una solución. Se cumplen todas las restricciones y condiciones óptimas.
Motor de Solver
Motor: GRG Nonlinear
Tiempo de la solución: 0,015 segundos.
Iteraciones: 1 Subproblemas: 0
Opciones de Solver
Tiempo máximo Ilimitado, Iteraciones Ilimitado, Precision 0,000001, Usar escala automática
Convergencia 0,0001, Tamaño de población 100, Valor de inicialización aleatorio 0, Adelantada de derivados, Requerir límites
Máximo de subproblemas Ilimitado, Máximo de soluciones de enteros Ilimitado, Tolerancia de enteros 1%, Asumir no negativo

Celda objetivo (Valor de)

Celda	Nombre	Valor original	Valor final
F5		0,0447	0,0000

Celdas de variables

Celda	Nombre	Valor original	Valor final	Entero
E5		0,8115	0,8108	Continuar

Restricciones

Celda	Nombre	Valor de la celda	Fórmula	Estado	Demora
F5		0,0000	F5=0	Vinculante	0

Microsoft Excel 16.0 Informe de respuestas
Hoja de cálculo: [Taller 1.xls]Hoja1
Informe creado: 20-10-2024 12:34:34
Resultado: Solver encontró una solución. Se cumplen todas las restricciones y condiciones óptimas.
Motor de Solver
Motor: GRG Nonlinear
Tiempo de la solución: 0,016 segundos.
Iteraciones: 1 Subproblemas: 0
Opciones de Solver
Tiempo máximo Ilimitado, Iteraciones Ilimitado, Precision 0,000001, Usar escala automática
Convergencia 0,0001, Tamaño de población 100, Valor de inicialización aleatorio 0, Adelantada de derivados, Requerir límites
Máximo de subproblemas Ilimitado, Máximo de soluciones de enteros Ilimitado, Tolerancia de enteros 1%, Asumir no negativo

Celda objetivo (Valor de)

Celda	Nombre	Valor original	Valor final
F6		0,0447	0,0000

Celdas de variables

Celda	Nombre	Valor original	Valor final	Entero
E6		0,8118	0,8111	Continuar

Restricciones

Celda	Nombre	Valor de la celda	Fórmula	Estado	Demora
F6		0,0000	F6=0	Vinculante	0

Microsoft Excel 16.0 Informe de respuestas
Hoja de cálculo: [Taller 1.xls]Hoja1
Informe creado: 20-10-2024 12:35:14
Resultado: Solver encontró una solución. Se cumplen todas las restricciones y condiciones óptimas.
Motor de Solver
Motor: GRG Nonlinear
Tiempo de la solución: 0 segundos.
Iteraciones: 1 Subproblemas: 0
Opciones de Solver
Tiempo máximo Ilimitado, Iteraciones Ilimitado, Precision 0,000001, Usar escala automática
Convergencia 0,0001, Tamaño de población 100, Valor de inicialización aleatorio 0, Adelantada de derivados, Requerir límites
Máximo de subproblemas Ilimitado, Máximo de soluciones de enteros Ilimitado, Tolerancia de enteros 1%, Asumir no negativo

Celda objetivo (Valor de)

Celda	Nombre	Valor original	Valor final
F7		0,0447	0,0000

Celdas de variables

Celda	Nombre	Valor original	Valor final	Entero
E7		0,8122	0,8115	Continuar

Restricciones

Celda	Nombre	Valor de la celda	Fórmula	Estado	Demora
F7		0,0000	F7=0	Vinculante	0

Microsoft Excel 16.0 Informe de respuestas
Hoja de cálculo: [Taller 1.xls]Hoja1
Informe creado: 20-10-2024 12:36:24
Resultado: Solver encontró una solución. Se cumplen todas las restricciones y condiciones óptimas.
Motor de Solver
Motor: GRG Nonlinear
Tiempo de la solución: 0,016 segundos.
Iteraciones: 1 Subproblemas: 0
Opciones de Solver
Tiempo máximo Ilimitado, Iteraciones Ilimitado, Precision 0,000001, Usar escala automática
Convergencia 0,0001, Tamaño de población 100, Valor de inicialización aleatorio 0, Adelantada de derivados, Requerir límites
Máximo de subproblemas Ilimitado, Máximo de soluciones de enteros Ilimitado, Tolerancia de enteros 1%, Asumir no negativo

Celda objetivo (Valor de)

Celda	Nombre	Valor original	Valor final
F8		0,0447	0,0000

Celdas de variables

Celda	Nombre	Valor original	Valor final	Entero
E8		0,8125	0,8119	Continuar

Restricciones

Celda	Nombre	Valor de la celda	Fórmula	Estado	Demora
F8		0,0000	F8=0	Vinculante	0

Microsoft Excel 16.0 Informe de respuestas
Hoja de cálculo: [Taller 1.xls]Hoja1
Informe creado: 20-10-2024 12:39:39
Resultado: Solver encontró una solución. Se cumplen todas las restricciones y condiciones óptimas.
Motor de Solver
Motor: GRG Nonlinear
Tiempo de la solución: 0,016 segundos.
Iteraciones: 1 Subproblemas: 0
Opciones de Solver
Tiempo máximo Ilimitado, Iteraciones Ilimitado, Precision 0,000001, Usar escala automática
Convergencia 0,0001, Tamaño de población 100, Valor de inicialización aleatorio 0, Adelantada de derivados, Requerir límites
Máximo de subproblemas Ilimitado, Máximo de soluciones de enteros Ilimitado, Tolerancia de enteros 1%, Asumir no negativo

Celda objetivo (Valor de)

Celda	Nombre	Valor original	Valor final
F9		0,0447	0,0000

Celdas de variables

Celda	Nombre	Valor original	Valor final	Entero
E9		0,8129	0,8122	Continuar

Restricciones

Celda	Nombre	Valor de la celda	Fórmula	Estado	Demora
F9		0,0000	F9=0	Vinculante	0

Microsoft Excel 16.0 Informe de respuestas
Hoja de cálculo: [Taller 1.xls]Hoja1
Informe creado: 20-10-2024 12:43:35
Resultado: Solver encontró una solución. Se cumplen todas las restricciones y condiciones óptimas.
Motor de Solver
Motor: GRG Nonlinear
Tiempo de la solución: 0 segundos.
Iteraciones: 1 Subproblemas: 0
Opciones de Solver
Tiempo máximo Ilimitado, Iteraciones Ilimitado, Precision 0,000001, Usar escala automática
Convergencia 0,0001, Tamaño de población 100, Valor de inicialización aleatorio 0, Adelantada de derivados, Requerir límites
Máximo de subproblemas Ilimitado, Máximo de soluciones de enteros Ilimitado, Tolerancia de enteros 1%, Asumir no negativo

Celda objetivo (Valor de)

Celda	Nombre	Valor original	Valor final
F10		0,0447	0,0000

Celdas de variables

Celda	Nombre	Valor original	Valor final	Entero
E10		0,8132	0,8126	Continuar

Restricciones

Celda	Nombre	Valor de la celda	Fórmula	Estado	Demora
F10		0,0000	F10=0	Vinculante	0

Microsoft Excel 16.0 Informe de respuestas
Hoja de cálculo: [Taller 1.xls]Hoja1
Informe creado: 20-10-2024 12:45:30
Resultado: Solver encontró una solución. Se cumplen todas las restricciones y condiciones óptimas.
Motor de Solver
Motor: GRG Nonlinear
Tiempo de la solución: 0,015 segundos.
Iteraciones: 1 Subproblemas: 0
Opciones de Solver
Tiempo máximo Ilimitado, Iteraciones Ilimitado, Precision 0,000001, Usar escala automática
Convergencia 0,0001, Tamaño de población 100, Valor de inicialización aleatorio 0, Adelantada de derivados, Requerir límites
Máximo de subproblemas Ilimitado, Máximo de soluciones de enteros Ilimitado, Tolerancia de enteros 1%, Asumir no negativo

Celda objetivo (Valor de)

Celda	Nombre	Valor original	Valor final
F11		0,0446	0,0000

Celdas de variables

Celda	Nombre	Valor original	Valor final	Entero
E11		0,8136	0,8129	Continuar

Restricciones

Celda	Nombre	Valor de la celda	Fórmula	Estado	Demora
F11		0,0000	F11=0	Vinculante	0