

	Instructivo para el Modelamiento de Rendimientos del Servicio de Barrido	Código: AT-IN-05
		Versión: 01
		Fecha de emisión: 31/10/2025
		Fecha de actualización: 31/10/2025
		Página 1 de 10

1. OBJETIVO

Establecer el procedimiento técnico para el cálculo de los rendimientos base e incrementales asociados a las actividades de barrido manual, barrido mecánico y limpieza de áreas públicas, considerando variables operativas como la pendiente del terreno, el relevamiento operativo, el estrato socioeconómico y el uso del suelo, con el fin de garantizar uniformidad y trazabilidad en el modelamiento de dichos rendimientos dentro del sistema de gestión de la calidad.

2. ALCANCE

Este instructivo aplica a los procesos de planificación, evaluación y optimización del servicio de aseo, específicamente en el componente de barrido manual, mecánico y de áreas públicas. Será utilizado por los analistas y/o profesionales SIG encargados de generar, revisar o actualizar los datos de rendimiento operativo, los cuales alimentan el modelo técnico-operativo que soporta la toma de decisiones en la prestación del servicio.

3. DEFINICIONES

Rendimiento Inicial: Valor base que representa la eficiencia o capacidad operativa con la que se ejecuta la actividad de barrido, expresado generalmente en kilómetros por jornada o área cubierta por unidad de tiempo.

Factor De Estrato: Coeficiente de ajuste aplicado al rendimiento inicial, determinado por el estrato socioeconómico del sector en el cual se realiza la actividad de barrido.

Factor De Pendiente: Coeficiente de ajuste aplicado al rendimiento inicial, definido según el grado de inclinación del terreno sobre el cual se ejecuta la actividad.

Factor De Relevamiento: Coeficiente de ajuste aplicado al rendimiento inicial, con base en el relevamiento operativo, el cual contempla elementos como ancho vial, obstáculos, accesibilidad, condiciones físicas, entre otros aspectos observados en campo.

Factor De Uso De Suelo: Coeficiente de ajuste aplicado al rendimiento inicial, determinado por la clasificación del uso de suelo (residencial, comercial, institucional, mixto, etc.) del área objeto del barrido.

	Instructivo para el Modelamiento de Rendimientos del Servicio de Barrido	Código: AT-IN-05
		Versión: 01
		Fecha de emisión: 31/10/2025
		Fecha de actualización: 31/10/2025
		Página 2 de 10

Rendimiento Final: Valor resultante de aplicar al rendimiento inicial los diferentes factores de ajuste (estrato, pendiente, relevamiento y uso de suelo), representando así la eficiencia operativa ajustada para condiciones reales de ejecución.

4. DESCRIPCIÓN

4.1 Recursos preliminares

Para la ejecución del procedimiento de cálculo de rendimientos ajustados en actividades de barrido, se requiere disponer de las siguientes capas de entrada:

- **Capas Base con Frecuencias de atención:** Información geográfica oficial obtenida del ente regulador mediante resolución o decreto (generalmente contenida en el PGIRS), la cual define los polígonos, tramos o zonas de prestación del servicio y su respectiva frecuencia de barrido.

Estas pueden estar separadas en:

- **Capa de vías:** Contiene las vías vehiculares o peatonales con la geometría de líneas. De esta se puede conformar el tipo de barrido manual o mecánico, usando como referencia la clase o tipo de vía, siendo las vías principales atendidas con barredora mecánica. Esta debe estar conformada en geometría del tipo línea y estas deben estar separadas en tramos por cada intersección.
- **Capa de ciclorruta:** Es una capa complementaria a la capa de vías, la cual contiene las vías del tipo ciclorruta. Esta debe estar conformada en geometría del tipo línea y estas deben estar separadas en tramos por cada intersección.
- **Capa de áreas públicas:** Contiene los elementos correspondientes las áreas públicas objetos de barrido. Esta capa debe estar conformada en geometría del tipo polígono.
- **Capa Base con determinantes geográficas:** Información espacial contentiva de las variables necesarias para aplicar los factores modificadores al rendimiento. Esta capa debe incluir, como mínimo, los factores de pendiente y relevamiento,

	Instructivo para el Modelamiento de Rendimientos del Servicio de Barrido	Código: AT-IN-05
		Versión: 01
		Fecha de emisión: 31/10/2025
		Fecha de actualización: 31/10/2025
		Página 3 de 10

categorizados conforme a los rangos definidos para el modelo.

A continuación, se describen las categorías establecidas para cada factor:

➤ **Pendiente:**

Clasificación basada en el porcentaje de inclinación del terreno:

- **0% - 3%:** Pendiente ligeramente plana.
- **>3% - 7%:** Pendiente ligeramente inclinada.
- **>7% - 12%:** Pendiente moderadamente inclinada.
- **>12% - 25%:** Pendiente fuertemente inclinada.
- **>25% - 50%:** Pendiente moderadamente escarpada.
- **>50% - 75%:** Pendiente escarpada.
- **>75%:** Pendiente muy escarpada.

➤ **Relevamiento:**

Clasificación según el tipo de superficie vial:

- **PAV:** (PAVIMENTADO) Vías con superficie rígida o asfáltica.
- **PEAT:** (PEATONAL) Vías de uso peatonal.
- **DESP:** (DESPAVIMENTADO) Vías sin material superficial (tierra, afirmado, etc.).
- **SDEF:** (SIN DEFINIR) Vías sin información sobre el tipo de superficie.

➤ **Estrato:**

Clasificación oficial del estrato asignado al entorno urbano donde se ubica el objeto de barrido:

- **0:** Espacios públicos oficiales (zonas institucionales o sin estratificación)
- **1 – 6:** Estratos residenciales conforme a la clasificación socioeconómica establecida por el ente regulador

➤ **Uso de suelo:**

- **INDUSTRIAL:** Áreas destinadas a procesos de manufactura, producción o almacenamiento a gran escala.
- **COMERCIAL:** Zonas con presencia de establecimientos dedicados a la venta de bienes o servicios.
- **EN CONSTRUCCION:** Áreas en proceso activo de edificación o urbanización.
- **CULTURAL:** Espacios dedicados a actividades artísticas, patrimoniales o de recreación cultural (teatros, museos, centros culturales, etc.).
- **EDUCACIONAL:** Áreas destinadas a instituciones educativas como colegios, universidades, jardines infantiles, entre otros.

	Instructivo para el Modelamiento de Rendimientos del Servicio de Barrido	Código: AT-IN-05
		Versión: 01
		Fecha de emisión: 31/10/2025
		Fecha de actualización: 31/10/2025
		Página 4 de 10

- **OFICIAL:** Zonas de uso institucional o gubernamental (alcaldías, estaciones de policía, juzgados, etc.).
- **HABITACIONAL:** Sectores destinados principalmente a uso residencial o vivienda.

4.2 Asignación del rendimiento base

A partir de las capas denominadas “Capas Base con Frecuencias de Atención”, se procede a la preparación del insumo geográfico que servirá como entrada al modelo de cálculo de rendimientos. Para ello, y haciendo uso de software SIG (como ArcGIS Pro), se debe agregar el campo “ren_ini” a la capa, el cuales permitirá registrar el valor de rendimiento inicial que será afectado o modificado por los factores Se establecen los valores iniciales de rendimiento:

- Vías (no principales) y ciclorrutas: 0.67 km/h
- Vías principales (barrido mecánico): 12 km/h
- Áreas públicas: Según tipo de elemento:
 - **AN:** (ANDEN) 3.7 km/h
 - **CR:** (CICLORRUTA) 3.7 km/h
 - **PD:** (POLIDEPORTIVO) 5.0 km/h
 - **PLZ:** (PLAZA) 5.0 km/h
 - **PLZT:** (PLAZOLETA) 5.0 km/h
 - **PQ:** (PARQUE) 5.0 km/h
 - **PSJ:** (PATA SECA JARILLON) 5.0 km/h
 - **PU:** (PUENTE) 3.7 km/h
 - **RC:** (RONDA CANAL) 3.7 km/h
 - **SV:** (SEPARADOR VIAL) 7.0 km/h
 - **VF:** (VIA FERREA) 5.0 km/h
 - **ZP:** (ZONA PEATONAL) 5.0 km/h
 - **ZV:** (ZONA VERDE) 5.0 km/h

4.3 Asignación de categorías para factores modificadores del rendimiento inicial

Se procede a la preparación de la sección que contendrá las categorías de los factores modificadores del rendimiento inicial; para esta se deben agregar los siguientes campos a la capa:

- **relavam** (Tipo: Text): Clasificación del tipo de afectación observada durante el

	Instructivo para el Modelamiento de Rendimientos del Servicio de Barrido	Código: AT-IN-05
		Versión: 01
		Fecha de emisión: 31/10/2025
		Fecha de actualización: 31/10/2025
		Página 5 de 10

trabajo de campo.

- **pendiente** (Tipo: Text): Categoría de pendiente del tramo
- **estrato** (Tipo: Text): Nivel socioeconómico asignado a la zona (valores de 0 a 6).
- **uso_suelo** (Tipo: Text): Tipo de uso dominante en la zona

Para cargar los datos a los campos categóricos se debe realizar un geoproceto en software GIS, con el fin de heredar los valores desde la “Capa Base con determinantes geográficas”. Todos los campos deben estar correctamente definidos en la capa antes de ejecutar los scripts de cálculo. Se recomienda aplicar validaciones para evitar valores nulos en los campos requeridos. La estructura de nombres debe respetarse para mantener compatibilidad con los scripts automatizados.

4.4 Cálculo del factor de relevamiento:

Por medio del siguiente script de Python se asignan los porcentajes de ajuste definidos según los requerimientos operativos y de diseño; seguidamente se multiplica por el rendimiento inicial y se obtiene el valor del factor de relevamiento en su respectivo campo (fact_relev):

```
# Diccionario de factores (Porcentajes de afectación)
factor_dict = {
    'PAV': 0, #0% Sin afectación
    'PEAT': 0, #0% Sin afectación
    'DESP': 1, # +100% Afectación moderada
    'SDEF': 0.5 # +50% Se asigna valor intermedio ante incertidumbre en condiciones.
}

# Crear campo 'fact_relev' si no existe
campos = [f.name for f in arcpy.ListFields(capa_vias)]
if 'fact_relev' not in campos:
    arcpy.AddField_management(capa_vias, 'fact_relev', 'DOUBLE')

# Calcular factor de relevamiento para vías
with arcpy.da.UpdateCursor(capa_vias, ['relevam', 'ren_ini', 'fact_relev']) as cursor:
    for row in cursor:
        tipo = row[0]
        rend_ini = row[1]
        factor = factor_dict.get(tipo.upper(), 0) if tipo else None
        row[2] = round(rend_ini * factor, 2) if rend_ini is not None else None
        cursor.updateRow(row)

print("Cálculo terminado.")
```

Ilustración 1: Script en Python para calcular el factor de relevamiento

4.5 Cálculo del factor de pendiente:

Por medio del siguiente script de Python se asignan los porcentajes de ajuste definidos según los requerimientos operativos y de diseño; seguidamente se multiplica por el rendimiento inicial y se obtiene el valor del factor de pendiente en

	Instructivo para el Modelamiento de Rendimientos del Servicio de Barrido	Código: AT-IN-05
		Versión: 01
		Fecha de emisión: 31/10/2025
		Fecha de actualización: 31/10/2025
		Página 6 de 10

su respectivo campo (fact_pend):

```
# Diccionario de factores (Porcentajes de afectación)
factor_dict = {
    '0% - 3%': 0, # 0% Ligeramente Plano, sin afectación.
    '>3% - 7%': -0.025, # -2.5% Ligeramente Inclinado, afectación mínima.
    '>7% - 12%': -0.05, # -10% Moderadamente Inclinado, afecta movilidad.
    '>12% - 25%': -0.075, # -7.5% Fuertemente Inclinado, reduce eficiencia operativa.
    '>25% - 50%': -0.10, # -10% Moderadamente Escarpado, acceso difícil.
    '>50% - 75%': -0.125, # -12.5% Escarpado, acceso crítico.
    '>75%': -0.15 # -15% Muy Escarpado, operación casi inviable.
}

# Crear campo 'fact_pend' si no existe
campos = [f.name for f in arcpy.ListFields(capa_vias)]
if 'fact_pend' not in campos:
    arcpy.AddField_management(capa_vias, 'fact_pend', 'DOUBLE')

# Calcular factor de pendiente para vías
with arcpy.da.UpdateCursor(capa_vias, ['pendiente', 'ren_ini', 'fact_pend']) as cursor:
    for row in cursor:
        tipo = row[0]
        rend_ini = row[1]
        factor = factor_dict.get(tipo.upper(), 0) if tipo else None
        row[2] = round(rend_ini * factor, 2) if rend_ini is not None else None
        cursor.updateRow(row)

print("Cálculo terminado.")
```

Ilustración 2: Script en Python para calcular el factor de pendiente

4.6 Cálculo del factor de estrato:

Por medio del siguiente script de Python se asignan los porcentajes de ajuste definidos según los requerimientos operativos y de diseño; seguidamente se multiplica por el rendimiento inicial y se obtiene el valor del factor de estrato en su respectivo campo (fact_est):

```
# Diccionario de factores (Porcentajes de afectación)
factor_dict = {
    '0': 0.15, # 15% Espacio público oficiales. Similar a un estrato 3 o 4
    '1': 0, # 0% Punto inicial, no es afectado.
    '2': 0.10, # +10% Condiciones mejoran, hay afectación.
    '3': 0.125, # +12.5% Zonas con condiciones operativas aceptables.
    '4': 0.25, # +25% Infraestructura favorable.
    '5': 0.3, # +30% Condiciones óptimas, mejora el rendimiento.
    '6': 0.375 # +37.5% Máxima eficiencia operativa esperada.
}

# Crear campo 'fact_est' si no existe
campos = [f.name for f in arcpy.ListFields(capa_vias)]
if 'fact_est' not in campos:
    arcpy.AddField_management(capa_vias, 'fact_est', 'DOUBLE')

# Calcular factor de estrato para vías
with arcpy.da.UpdateCursor(capa_vias, ['estrato', 'ren_ini', 'fact_est']) as cursor:
    for row in cursor:
        tipo = row[0]
        rend_ini = row[1]
        factor = factor_dict.get(tipo.upper(), 0) if tipo else None
        row[2] = round(rend_ini * factor, 2) if rend_ini is not None else None
        cursor.updateRow(row)

print("Cálculo terminado.")
```

Ilustración 3: Script en Python para calcular el factor de estrato

	Instructivo para el Modelamiento de Rendimientos del Servicio de Barrido	Código: AT-IN-05
		Versión: 01
		Fecha de emisión: 31/10/2025
		Fecha de actualización: 31/10/2025
		Página 7 de 10

4.7 Cálculo del factor de uso de suelo:

Por medio del siguiente script de Python se asignan los porcentajes de ajuste definidos según los requerimientos operativos y de diseño; seguidamente se multiplica por el rendimiento inicial y se obtiene el valor del factor de uso de suelo en su respectivo campo (fact_uso_s):

```
# Diccionario de factores (Porcentajes de afectación)
factor_dict = {
    'INDUSTRIAL': -0.10, # -10% Vehículos pesados, residuos especiales, operatividad limitada.
    'COMERCIAL': -0.05, # -05% Alta circulación peatonal y vehicular. Obstáculos y residuos frecuentes.
    'EN CONSTRUCCION': -0.10, # -10% Presencia de obstáculos y residuos frecuentes.
    'CULTURAL': -0.05, # -5% Flujo variable, eventos ocasionales. Moderada afectación.
    'EDUCACIONAL': -0.05, # -5% Alta actividad en horarios pico. Entradas, buses y residuos específicos.
    'OFICIAL': -0.05, # -5% Alta circulación peatonal y vehicular. Obstáculos y residuos frecuentes.
    'HABITACIONAL': 0.10 # +100% Flujo predecible, menores obstáculos, sin afectación
}

# Crear campo 'fact_uso_s' si no existe
campos = [f.name for f in arcpy.ListFields(capa_vias)]
if 'fact_uso_s' not in campos:
    arcpy.AddField_management(capa_vias, 'fact_uso_s', 'DOUBLE')

# Calcular
with arcpy.da.UpdateCursor(capa_vias, ['uso_suelo', 'ren_ini', 'fact_uso_s']) as cursor:
    for row in cursor:
        tipo = row[0]
        rend_ini = row[1]
        factor = factor_dict.get(tipo.upper(), 0) if tipo else None
        row[2] = round(rend_ini * factor, 2) if rend_ini is not None else None
        cursor.updateRow(row)

print("Capa de Vías Actualizada...")
```

Ilustración 4: Script en Python para calcular el factor de uso de suelo

4.8 Cálculo de rendimientos finales:

El rendimiento final se genera a partir de la suma algebraica del rendimiento inicial y los factores, siendo:

rf = Rendimiento final
ri = Rendimiento inicial
fr = Factor de relevamiento
fp = Factor de pendiente
fe = Factor de estrato
fu = Factor de uso de suelo

$$rf = (ri) + (fr) + (fp) + (fe) + (fu)$$

Por medio del siguiente script de Python se asignan se realiza el cálculo de rendimientos finales por cada elemento, cargados en el campo designado (rendiment):

	Instructivo para el Modelamiento de Rendimientos del Servicio de Barrido	Código: AT-IN-05
		Versión: 01
		Fecha de emisión: 31/10/2025
		Fecha de actualización: 31/10/2025
		Página 8 de 10

```

# === CÁLCULO - CAPA VIAS - BARRIDO MANUAL ===

# Calcular el campo 'rendimient' como la suma de los factores
with arcpy.da.UpdateCursor(capa_vias, ['ren_ini', 'fact_relev', 'fact_pend', 'fact_est', 'fact_uso_s', 'rendimient']) as cursor:
    for row in cursor:
        # Sumar los factores (tratando valores nulos como 0)
        suma = sum([f if f is not None else 0 for f in row[:5]])
        row[5] = suma
        cursor.updateRow(row)

print("✅ Cálculo de 'rendimient' para barrido manual - vías terminado.")

```

Ilustración 5: Script en Python para calcular el rendimiento final

4.9 Cálculo de cantidad de operarios:

La cantidad de operarios se genera a partir de la división de la longitud del tramo en kilómetros sobre el rendimiento final multiplicado por la jornada efectiva y luego multiplicada por la distribución operativa definida para la operación, siendo:

co = Cantidad de operarios
km = Longitud del tramo en kilómetros
rf = Rendimiento final
j = jornada
d = distribución operativa

$$co = \frac{km}{rf * j} * d$$

Por medio del siguiente script de Python se asignan se realiza el cálculo de cantidad de operarios por cada elemento, cargados en el campo designado (cant_op):

```

# Calcular el nuevo campo 'cant_op' usando la fórmula indicada
with arcpy.da.UpdateCursor(capa_vias, ['km_via', 'rendimient', 'jornada', 'dist_op', 'cant_op']) as cursor:
    for row in cursor:
        # Reemplazar None por 0
        km = row[0] if row[0] is not None else 0
        rend = row[1] if row[1] is not None else 0
        jorn = row[2] if row[2] is not None else 0
        dist = row[3] if row[3] is not None else 0

        # Evitar división por cero
        if rend > 0 and jorn > 0:
            row[4] = (km / (rend * jorn)) * dist
        else:
            row[4] = 0 # puedes usar None si prefieres dejarlo vacío

        cursor.updateRow(row)

print("✅ Cálculo de 'cant_op' para barrido manual - vías terminado.")

```

Ilustración 6: Script en Python para calcular la cantidad de operarios

	Instructivo para el Modelamiento de Rendimientos del Servicio de Barrido	Código: AT-IN-05
		Versión: 01
		Fecha de emisión: 31/10/2025
		Fecha de actualización: 31/10/2025
		Página 9 de 10

4.10 Visualización de los resultados:

Una vez finalizado el proceso de cálculo de los factores y rendimientos, se debe validar que todos los campos de las capas geográficas contengan información completa y coherente.

A continuación, se procede con la exportación de las tablas de atributos de las capas trabajadas en formato Excel (.xlsx), asegurando que los valores calculados de rendimiento inicial (ren_ini) y factores (fact_est, fact_pend, etc.) estén correctamente reflejados.

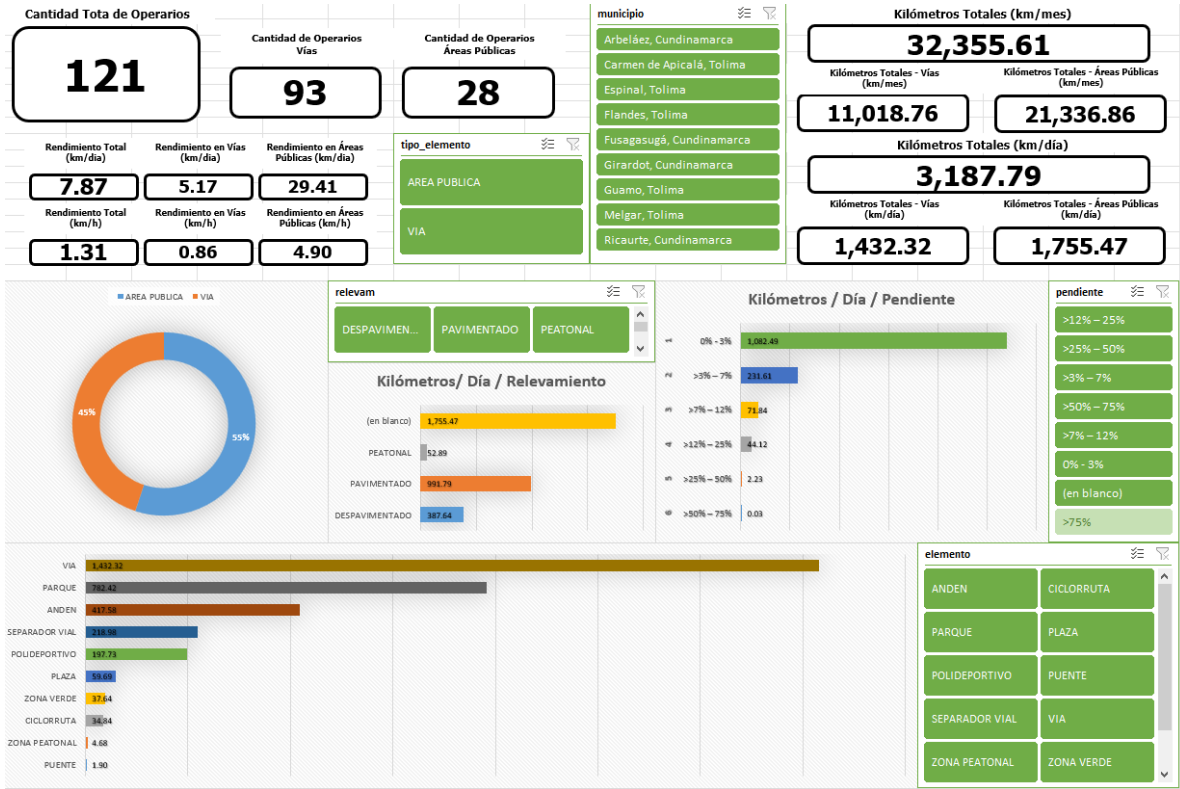
Posteriormente, se abre el archivo “Resumen_Modelo_SerAmbiental.xlsx”, el cual contiene el tablero de control diseñado para la visualización y análisis de resultados. En este archivo se deben seguir los siguientes pasos:

- Actualizar las rutas de origen de los archivos mediante la herramienta Power Query, ingresando a cada consulta y modificando la ruta base de los archivos exportados.
- Verificar que los campos coincidan correctamente con los nombres utilizados en los archivos originales, para garantizar que se mantengan las relaciones entre las tablas dinámicas, consultas y gráficos.
- Confirmar que todas las tablas se hayan actualizado correctamente y que no existan errores en los vínculos de Power Query.

El tablero de control permite una visualización clara e interactiva del comportamiento del modelo. Entre sus principales componentes se encuentran:

- Distribución de los elementos según los factores modificadores del rendimiento (estrato, pendiente, uso del suelo, relevamiento).
- Totalización de operarios requeridos por tipo de elemento o unidad operativa.
- Rendimientos estimados clasificados por tipo de infraestructura (vías, ciclorrutas, zonas públicas, etc.).

➤ Segmentadores que permiten filtrar y explorar los datos por diferentes criterios: municipio, relevamiento, tipo de elemento, etc.



HISTORIAL DE CAMBIOS

Versión	Fecha	Elaborado/Modificado por	Descripción del cambio
1	31/10/2025	Wainer José Zapata - Profesional en Sistemas de Información Geográfica	Creación.

Elaboró: Wainer José Zapata - Profesional en Sistemas de Información Geográfica	Revisó: Johanna Marcela Vanegas Navarrete - Jefe Nacional de Planeación y Control de Operaciones
Aprobó: Nelson Silva - Gerente técnico	