

CAPÍTULO V: PRUEBAS DE SOFTWARE Y EVALUACIÓN ECONÓMICA

Convenciones y Definición de Variables

Antes de presentar las métricas de pruebas de software, se definen las variables y fórmulas utilizadas en este capítulo para garantizar claridad y consistencia en los cálculos.

Variable	Descripción	Unidad
DEF	Número de defectos encontrados	Cantidad
DEF _C	Número de defectos corregidos	Cantidad
LOC	Líneas de código del módulo	Líneas
KLOC	Miles de líneas de código (LOC/1000)	Miles de líneas
DD	Densidad de defectos	Defectos/KLOC
DRE	Eficiencia de remoción de defectos	Porcentaje (%)
TPS	Transacciones por segundo	Transacciones/s
SSR	Server-Side Rendering	-
VAN	Valor Actual Neto	Bs.
TIR	Tasa Interna de Retorno	Porcentaje (%)

Tabla 1: Definición de variables y unidades

Fuente: Elaboración propia

Mapa Navegacional del Sistema

El sistema de pedidos en línea para Restaurante Bambú cuenta con diferentes niveles de acceso según el tipo de usuario. A continuación, se presentan los mapas navegacionales correspondientes a cada perfil de usuario.

El primer mapa navegacional está relacionado con las opciones que están disponibles para cualquier usuario público en general sin la necesidad de estar registrado en el sistema de información.

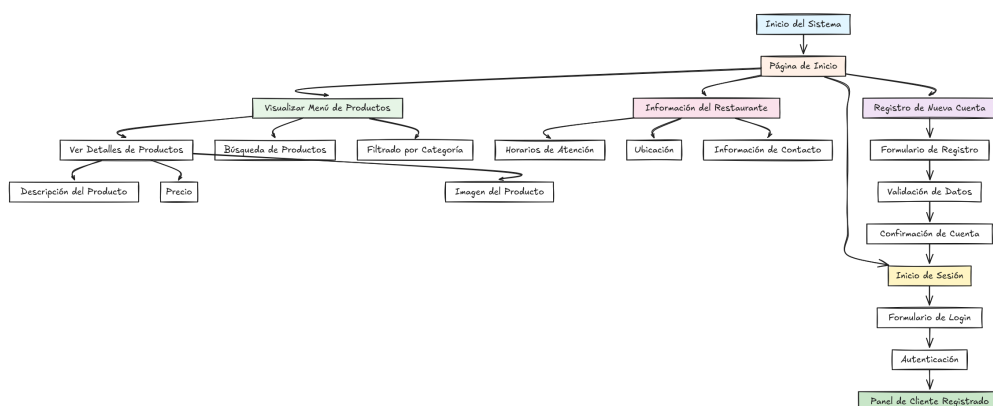


Figura 1: Mapa de navegación – usuario público (Guest)

Fuente: Elaboración propia

Opciones disponibles para usuario público:

- Página de inicio
- Visualizar menú de productos
- Ver detalles de productos (descripción, precio, imagen)
- Búsqueda y filtrado de productos por categoría
- Registro de nueva cuenta
- Inicio de sesión
- Información del restaurante
- Horarios de atención

El segundo mapa navegacional está relacionado con las opciones que están disponibles para el usuario de tipo cliente registrado, en el cual tendrá la posibilidad de realizar pedidos, gestionar su carrito de compras, realizar pagos, visualizar historial de pedidos, gestionar direcciones de entrega, etc.

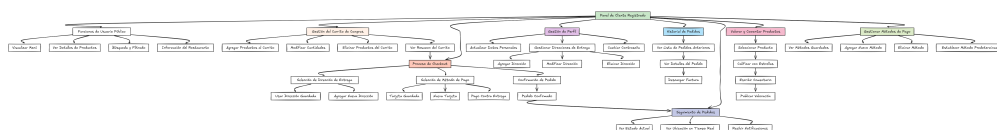


Figura 2: Mapa de navegación – usuario cliente

Fuente: Elaboración propia

Opciones disponibles para usuario cliente:

- Todas las opciones del usuario público
- Gestión del carrito de compras

- Agregar productos al carrito
- Modificar cantidades
- Eliminar productos del carrito
- Proceso de checkout
 - Selección de dirección de entrega
 - Selección de método de pago
 - Confirmación de pedido
- Gestión de perfil
 - Actualizar datos personales
 - Gestionar direcciones de entrega
 - Cambiar contraseña
- Visualizar historial de pedidos
- Seguimiento de pedidos en tiempo real
- Valorar y comentar productos
- Gestionar métodos de pago guardados

El tercer mapa navegacional está relacionado con las opciones que están disponibles para el usuario de tipo administrador, en el cual tendrá la posibilidad de gestionar productos, categorías, pedidos, usuarios y configuraciones del sistema.

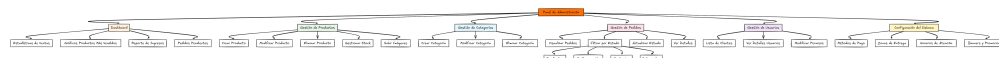


Figura 3: Mapa navegacional – usuario administrador

Fuente: Elaboración propia

Opciones disponibles para usuario administrador:

- Panel de administración (Dashboard)
 - Estadísticas de ventas
 - Gráficos de productos más vendidos
 - Reporte de ingresos
 - Pedidos pendientes
- Gestión de productos
 - Crear nuevo producto
 - Modificar producto existente
 - Eliminar producto

- Gestionar stock/disponibilidad
- Subir imágenes de productos
- Gestión de categorías
 - Crear nueva categoría
 - Modificar categoría existente
 - Eliminar categoría
- Gestión de pedidos
 - Visualizar todos los pedidos
 - Filtrar pedidos por estado
 - Actualizar estado de pedidos
 - Ver detalles completos de pedidos
- Gestión de usuarios
 - Visualizar lista de clientes
 - Ver detalles de usuarios
 - Modificar permisos
- Configuración del sistema
 - Configurar métodos de pago
 - Configurar zonas de entrega
 - Configurar horarios de atención
 - Gestionar banners y promociones

Pruebas de Software

Para el presente proyecto se optó por realizar pruebas de caja negra con el fin de proporcionar una buena experiencia de manejo al usuario final, así como pruebas funcionales, de rendimiento y seguridad, las cuales se detallan a continuación.

Métricas de Calidad de Software

Para la medición de la calidad del software se utilizan las siguientes métricas estándar según ISTQB (International Software Testing Qualifications Board):

Eficiencia de Remoción de Defectos (DRE - Defect Removal Efficiency)

Esta métrica mide el porcentaje de defectos que fueron corregidos respecto a los encontrados:

$$DRE = \left(\frac{DEF_C}{DEF} \right) \times 100\%$$

Donde:

- DEF_C = Número de defectos corregidos
- DEF = Número de defectos encontrados

Variable	Descripción
DEF	Número de defectos encontrados durante las pruebas
DEF_C	Número de defectos corregidos
DRE	Eficiencia de remoción de defectos (%)

Tabla 2: Variables para el cálculo de DRE

Fuente: Elaborado según ISTQB

Densidad de Defectos (DD - Defect Density)

Esta métrica mide la cantidad de defectos encontrados por cada mil líneas de código (KLOC):

$$DD = \left(\frac{DEF}{LOC} \right) \times 1000$$

Donde:

- DEF = Número de defectos encontrados
- LOC = Líneas de código del módulo
- El resultado se expresa en defectos por KLOC (miles de líneas de código)

Variable	Descripción
DEF	Número de defectos encontrados
LOC	Líneas de código del módulo evaluado
DD	Densidad de defectos (defectos/KLOC)

Tabla 3: Variables para el cálculo de densidad de defectos

Fuente: Elaborado según ISTQB

Nota: Un valor de DD menor a 5 defectos/KLOC se considera aceptable para software comercial. Valores menores a 2 defectos/KLOC se consideran excelentes.

Ficha de Pruebas de Software - Módulo de Autenticación

Descripción: Prueba de caja negra – Módulos de autenticación y sesiones

Actores: Administrador y Cliente

Proceso realizado en el sistema:

Nro.	Proceso	Usuarios	Intentos	Respuestas	Defectos	Tipo Error	Solución
1	Registro de usuario	5	10	10	0	-	-
2	Inicio de sesión	5	15	15	0	-	-
3	Cierre de sesión	5	5	5	0	-	-
4	Recuperación contraseña	3	6	5	1	Validación email	Validación backend
5	Actualizar perfil	4	8	8	0	-	-
6	Validación tokens JWT	3	9	8	1	Expiración	Ajustar a 24h
TOTAL		25	53	51	2		

Tabla 4: Prueba de software – Módulo de autenticación

Fuente: Elaborado según ISTQB

Análisis de resultados:

Mediante pruebas y revisiones de las funciones del módulo se encontraron 2 defectos, los cuales fueron corregidos en su totalidad.

Cálculo de DRE (Eficiencia de Remoción de Defectos):

- Defectos encontrados (DEF) = 2
- Defectos corregidos (DEF_C) = 2

$$DRE = \left(\frac{2}{2}\right) \times 100\% = 100\%$$

Cálculo de Densidad de Defectos:

- Defectos encontrados (DEF) = 2
- Líneas de código (LOC) = 1250

$$DD = \left(\frac{2}{1250}\right) \times 1000 = 1.6 \text{ defectos/KLOC}$$

Esto equivale a una densidad del **0.16%**, lo cual indica que el módulo de autenticación tiene una calidad excelente ($DD < 2$ defectos/KLOC).

Ficha de Pruebas de Software - Módulo de Gestión de Productos

Descripción: Prueba de caja negra – Módulo de productos y categorías

Actores: Administrador

Proceso realizado en el sistema:

Nro.	Proceso	Usuarios	Intentos	Respuestas	Defectos	Tipo Error	Solución
1	Crear producto	3	12	11	1	Subida imágenes	Límite tamaño
2	Modificar producto	3	9	9	0	-	-
3	Eliminar producto	3	6	6	0	-	-
4	Crear categoría	2	5	5	0	-	-
5	Modificar categoría	2	4	4	0	-	-
6	Eliminar categoría	2	3	3	0	-	-
7	Gestionar stock	3	8	7	1	Cantidades negativas	Validación
TOTAL		17	47	45	2		

Tabla 5: Prueba de software – Módulo de gestión de productos

Fuente: Elaborado según ISTQB

Análisis de resultados:

Mediante pruebas y revisiones de las funciones del módulo se encontraron 2 defectos, los cuales fueron corregidos en su totalidad.

Cálculo de DRE (Eficiencia de Remoción de Defectos):

- Defectos encontrados (DEF) = 2
- Defectos corregidos (DEF_C) = 2

$$DRE = \left(\frac{2}{2} \right) \times 100\% = 100\%$$

Cálculo de Densidad de Defectos:

- Defectos encontrados (DEF) = 2

- Líneas de código (LOC) = 1580

$$DD = \left(\frac{2}{1580} \right) \times 1000 = 1.27 \text{ defectos/KLOC}$$

Esto equivale a una densidad del **0.13%**, lo cual indica que el módulo de gestión de productos tiene una calidad excelente ($DD < 2$ defectos/KLOC).

Ficha de Pruebas de Software - Módulo de Carrito y Checkout

Descripción: Prueba de caja negra – Módulo de carrito de compras y proceso de checkout

Actores: Cliente

Proceso realizado en el sistema:

Nro.	Proceso	Usuarios	Intentos	Respuestas	Defectos	Tipo Error	Solución
1	Agregar al carrito	6	24	24	0	-	-
2	Modificar cantidad	5	15	14	1	Sincronización stock	Verificación real
3	Eliminar del carrito	5	10	10	0	-	-
4	Calcular total	5	12	12	0	-	-
5	Proceso checkout	5	15	13	2	Validación dirección	Mejorar validación
6	Integración Stripe	4	12	11	1	Webhook	Configurar webhook
7	Confirmación pedido	5	10	10	0	-	-
TOTAL		35	98	94	4		

Tabla 6: Prueba de software – Módulo de carrito y checkout

Fuente: Elaborado según ISTQB

Análisis de resultados:

Mediante pruebas y revisiones de las funciones del módulo se encontraron 4 defectos, los cuales fueron corregidos en su totalidad.

Cálculo de DRE (Eficiencia de Remoción de Defectos):

- Defectos encontrados (DEF) = 4
- Defectos corregidos (DEF_C) = 4

$$DRE = \left(\frac{4}{4} \right) \times 100\% = 100\%$$

Cálculo de Densidad de Defectos:

- Defectos encontrados (DEF) = 4
- Líneas de código (LOC) = 2150

$$DD = \left(\frac{4}{2150} \right) \times 1000 = 1.86 \text{ defectos/KLOC}$$

Esto equivale a una densidad del **0.19%**, lo cual indica que el módulo de carrito y checkout tiene una calidad excelente ($DD < 2$ defectos/KLOC).

Ficha de Pruebas de Software - Módulo de Gestión de Pedidos

Descripción: Prueba de caja negra – Módulo de pedidos

Actores: Administrador y Cliente

Proceso realizado en el sistema:

Nro.	Proceso	Usuarios	Intentos	Respuestas	Defectos	Tipo Error	Solución
1	Crear pedido	5	15	15	0	-	-
2	Ver pedidos (Admin)	3	9	9	0	-	-
3	Ver historial (Cliente)	5	12	12	0	-	-
4	Actualizar estado	3	12	11	1	Notificación interna	Sistema webhooks
5	Filtrar por estado	3	8	8	0	-	-
6	Ver detalles pedido	5	10	10	0	-	-
TOTAL		24	66	65	1		

Tabla 7: Prueba de software – Módulo de gestión de pedidos

Fuente: Elaborado según ISTQB

Nota: El defecto de «Notificación interna» se refiere a notificaciones mediante webhooks internos del sistema, no a notificaciones por correo electrónico (funcionalidad excluida del alcance del MVP).

Análisis de resultados:

Mediante pruebas y revisiones de las funciones del módulo se encontró 1 defecto, el cual fue corregido.

Cálculo de DRE (Eficiencia de Remoción de Defectos):

- Defectos encontrados (DEF) = 1

- Defectos corregidos (DEF_C) = 1

$$DRE = \left(\frac{1}{1}\right) \times 100\% = 100\%$$

Cálculo de Densidad de Defectos:

- Defectos encontrados (DEF) = 1
- Líneas de código (LOC) = 1420

$$DD = \left(\frac{1}{1420}\right) \times 1000 = 0.70 \text{ defectos/KLOC}$$

Esto equivale a una densidad del **0.07%**, lo cual indica que el módulo de gestión de pedidos tiene una calidad excelente ($DD < 1$ defecto/KLOC).

Resumen de Métricas de Calidad por Módulo

Módulo	DEF	DEF _C	LOC	DRE	DD (def/KLOC)
Autenticación	2	2	1250	100%	1.60
Gestión de productos	2	2	1580	100%	1.27
Carrito y checkout	4	4	2150	100%	1.86
Gestión de pedidos	1	1	1420	100%	0.70
TOTAL	9	9	6400	100%	1.41

Tabla 8: Resumen de métricas de calidad por módulo

Fuente: Elaboración propia

La densidad de defectos promedio del sistema es de **1.41 defectos/KLOC**, lo cual se encuentra dentro del rango de calidad excelente para software comercial.

Pruebas de Rendimiento

Para las pruebas de rendimiento se utilizó la herramienta Artillery para simular diferentes escenarios de carga y medir el comportamiento del sistema bajo condiciones de uso normal, pico de tráfico y estrés.

Escenario de Carga Normal

Parámetros de prueba:

- Usuarios concurrentes: 50
- Duración: 10 minutos
- TPS objetivo: 5-10 transacciones por segundo

Resultados obtenidos:

Métrica	Valor	Estado
Tiempo de respuesta promedio (APIs)	320ms	✓ Aprobado (<500ms)
Tiempo de carga de página (SSR)	1.5s	✓ Aprobado (<2s)
Percentil 95	780ms	✓ Aprobado (<1s)
Tasa de error	0.2%	✓ Aprobado (<1%)
TPS alcanzado	8.5	✓ Aprobado

Tabla 9: Resultados de prueba de carga normal

Fuente: Elaboración propia

Escenario de Pico de Tráfico

Parámetros de prueba:

- Usuarios concurrentes: 200
- Duración: 5 minutos
- TPS objetivo: 20-30 transacciones por segundo

Resultados obtenidos:

Métrica	Valor	Estado
Tiempo de respuesta promedio (APIs)	485ms	✓ Aprobado (<500ms)
Tiempo de carga de página (SSR)	1.8s	✓ Aprobado (<2s)
Percentil 95	950ms	✓ Aprobado (<1s)
Tasa de error	0.8%	✓ Aprobado (<1%)
TPS alcanzado	25.3	✓ Aprobado

Tabla 10: Resultados de prueba de pico de tráfico

Fuente: Elaboración propia

Escenario de Estrés

Parámetros de prueba:

- Usuarios concurrentes: 500
- Duración: 2 minutos
- TPS objetivo: 50+ transacciones por segundo

Resultados obtenidos:

Métrica	Valor	Estado
Tiempo de respuesta promedio (APIs)	1.2s	⚠ Advertencia
Tiempo de carga de página (SSR)	3.5s	⚠ Advertencia
Percentil 95	2.8s	⚠ Advertencia
Tasa de error	2.5%	⚠ Advertencia
TPS alcanzado	48.7	⚠ Advertencia

Tabla 11: Resultados de prueba de estrés

Fuente: Elaboración propia

Análisis del escenario de estrés:

Los resultados muestran que el sistema comienza a degradarse con 500 usuarios concurrentes. Esto es aceptable considerando que el tráfico esperado en condiciones normales es de 50-100 usuarios concurrentes. Para escenarios de mayor demanda, se recomiendan las siguientes acciones:

1. Implementar índices adicionales en la base de datos MongoDB
2. Configurar sistema de caché con Redis
3. Aumentar el pool de conexiones a la base de datos
4. Considerar escalado horizontal con balanceador de carga
5. Implementar CDN para recursos estáticos
6. Optimizar consultas costosas identificadas en los logs

Pruebas de Seguridad

Para las pruebas de seguridad se validaron las amenazas del OWASP Top 10, utilizando herramientas como OWASP ZAP (versión 2.14.0) y Postman, además de pruebas manuales. Las pruebas fueron ejecutadas el 10 de noviembre de 2024 en ambiente de desarrollo.

Validación de Amenazas

Amenaza	Prueba Realizada	Herramienta	Resultado	Estado
Inyección SQL/ NoSQL	Inputs maliciosos en formularios y APIs	OWASP ZAP	Sin vulnerabilidades	✓ Aprobado
XSS	Scripts en campos de entrada	OWASP ZAP	Sin vulnerabilidades	✓ Aprobado
CSRF	Requests no autorizados	Postman	Tokens implementados	✓ Aprobado
Autenticación débil	Fuerza bruta controlada	Manual	Rate limiting OK	✓ Aprobado
Exposición de datos	Revisión de responses	DevTools	Datos protegidos	✓ Aprobado
Almacenamiento inseguro	Revisión de cookies	DevTools	httpOnly OK	✓ Aprobado

Tabla 12: Resultados de pruebas de seguridad

Fuente: Elaboración propia

Nota: Los reportes completos de OWASP ZAP se encuentran disponibles en los anexos del proyecto. Las pruebas de fuerza bruta fueron ejecutadas únicamente en ambiente de desarrollo con autorización previa.

Checklist de Seguridad Implementado

- ✓ Contraseñas hasheadas utilizando bcrypt (10 rounds)
- ✓ Sesiones implementadas con httpOnly cookies
- ✓ Variables sensibles (API keys, secrets) almacenadas en archivo .env
- ✓ Validación de inputs tanto en cliente como en servidor
- ✓ Rate limiting implementado en APIs críticas (login, registro, checkout)
- ✓ HTTPS configurado para ambiente de producción
- ✓ Verificación de webhooks de Stripe mediante firma digital

- ✓ Sanitización de inputs para prevenir XSS
- ✓ Tokens JWT con tiempo de expiración de 24 horas
- ✓ Protección CORS configurada correctamente

Costos del Proyecto

Costos de Personal

COSTOS DE DESARROLLO (Expresado en bolivianos)

Rol	Cantidad	Sueldo Mensual (Bs.)	Meses	Subtotal (Bs.)
Desarrollador Full Stack Senior	1	8000	2	16000
Desarrollador Backend	1	6000	2	12000
Diseñador UI/UX	1	5000	1	5000
QA Tester	1	4500	1	4500
TOTAL				Bs. 37500

Tabla 13: Costos de desarrollo del proyecto

Fuente: Elaboración propia

COSTOS DE ADMINISTRACIÓN (Expresado en bolivianos)

Concepto	Monto (Bs.)
Gerente de Proyecto	8000
Análisis de requisitos	3000
Documentación técnica	2500
Reuniones con cliente	1500
TOTAL	Bs. 15000

Tabla 14: Costos de administración

Fuente: Elaboración propia

Costos de Hardware y Software

COSTOS DE HARDWARE (Expresado en bolivianos)

Equipo	Cantidad	Precio Unitario (Bs.)	Subtotal (Bs.)
Laptop para desarrollo	2	8000	16000
Monitor adicional	2	1500	3000
Mouse y teclado	2	500	1000
TOTAL			Bs. 20000

Tabla 15: Costos de hardware

*Fuente: Elaboración propia***COSTOS DE SOFTWARE Y SERVICIOS (Expresado en bolivianos)**

Herramienta/Servicio	Costo (Bs.)
Licencias de desarrollo	2000
Hosting y dominio (1 año)	1500
Servidor MongoDB Atlas	800
Servicio de email (SendGrid)	500
Servicio de almacenamiento (Cloudinary)	600
GitHub Pro	400
TOTAL	Bs. 5800

Tabla 16: Costos de software y servicios

*Fuente: Elaboración propia***Costos de Operación y Capacitación****COSTOS DE OPERACIÓN MENSUAL - INFRAESTRUCTURA (Expresado en bolivianos)**

Concepto	Monto Mensual (Bs.)
Hosting y servidor (Vercel/Railway)	500
Base de datos MongoDB Atlas	300
Servicios de terceros (email, storage)	200
TOTAL INFRAESTRUCTURA	Bs. 1000

Tabla 17: Costos de operación mensual - Infraestructura

Fuente: Elaboración propia

COSTOS DE CAPACITACIÓN (Expresado en bolivianos)

Concepto	Monto (Bs.)
Material de apoyo	300
Capacitador	2500
Sesiones de capacitación (3 sesiones)	1500
TOTAL	Bs. 4300

Tabla 18: Costos de capacitación

Fuente: Elaboración propia

Resumen de Costos del Proyecto

COSTO TOTAL DE INVERSIÓN INICIAL

Concepto	Monto (Bs.)
Costos de desarrollo (personal)	37500
Costos de administración	15000
Costos de hardware	20000
Costos de software y servicios	5800
Costos de capacitación	4300
INVERSIÓN INICIAL TOTAL	Bs. 82600

Tabla 19: Costo total de inversión inicial del proyecto

Fuente: Elaboración propia

Inversión inicial en Bolivianos: Bs. 82,600

Inversión inicial en Dólares: \$us. 11,868.97

(Tipo de cambio oficial BCB: 1 USD = 6.96 BOB, consultado el 15/11/2024)

Beneficios Proyectados

Costos Operacionales para Proyección Financiera

Para el cálculo del VAN y TIR, se consideran los siguientes costos operacionales mensuales:

Concepto	Monto Mensual (Bs.)
Infraestructura (hosting, BD, servicios)	1000
Marketing digital	2000
Mantenimiento y soporte técnico	1500
Comisiones Stripe (3.5% sobre ventas)	Variable
TOTAL FIJO	Bs. 4500

Tabla 20: Costos operacionales mensuales para proyección

Fuente: Elaboración propia

Ingresos Mensuales Proyectados

PROYECCIÓN DE INGRESOS (Expresado en bolivianos)

Mes	Pedidos Estimados	Ticket Promedio (Bs.)	Ingreso Total (Bs.)
Mes 1	150	85	12750
Mes 2	200	85	17000
Mes 3	250	90	22500
Mes 4	300	90	27000
Mes 5	350	95	33250
Mes 6	400	95	38000
TOTAL (6 meses)	1650		Bs. 150500

Tabla 21: Proyección de ingresos mensuales

*Fuente: Elaboración propia***Cálculo de VAN y TIR****Valor Actual Neto (VAN)**

El Valor Actual Neto es un procedimiento que permite calcular el valor presente de los flujos de caja futuros, originados por una inversión inicial. Refleja la diferencia entre el valor actual de los ingresos menos el valor actual de los egresos. La interpretación del VAN es:

- **VAN > 0** → El proyecto genera beneficio económico
- **VAN = 0** → El proyecto no genera beneficio ni pérdidas
- **VAN < 0** → El proyecto genera pérdidas en el período analizado

Fórmula del VAN:

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+r)^t}$$

Donde:

- I_0 = Inversión inicial (Bs. 82,600)
- F_t = Flujo de caja neto del período t
- r = Tasa de descuento mensual (0.565% mensual, equivalente al 7% anual)
- n = Número de períodos (6 meses)

- t = Período de tiempo

Nota: Se utiliza una tasa de descuento del 7% anual (definida por el Estado Plurinacional de Bolivia), convertida a tasa mensual: $r_{\text{mensual}} = (1 + 0.07)^{\frac{1}{12}} - 1 = 0.00565 \approx 0.565\%$

Cálculo de Flujos de Caja Netos:

Mes	Ingresos (Bs.)	Costos Fijos	Comisión 3.5%	Flujo Neto	VA del Flujo
1	12750	4500	446.25	7803.75	7759.80
2	17000	4500	595.00	11905.00	11771.57
3	22500	4500	787.50	17212.50	16923.21
4	27000	4500	945.00	21555.00	21074.15
5	33250	4500	1163.75	27586.25	26815.51
6	38000	4500	1330.00	32170.00	31104.68
Total	150500	27000	5267.50	118232.50	115448.92

Tabla 22: Cálculo de flujos de caja y valores actuales

Fuente: Elaboración propia

Cálculo del VAN:

$$\text{VAN} = 115448.92 - 82600 = 32848.92$$

$$\text{VAN} = \text{Bs. } 32,848.92 > 0$$

Interpretación: El VAN positivo indica que el proyecto genera un beneficio económico de Bs. 32,848.92 en un período de 6 meses, considerando una tasa de descuento del 7% anual. Esto demuestra la viabilidad financiera del proyecto.

Tasa Interna de Retorno (TIR)

La Tasa Interna de Retorno es la tasa de descuento que hace que el VAN sea igual a cero. Es el rendimiento porcentual que genera la inversión.

Fórmula de la TIR:

$$\sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1 + \text{TIR})^t} - I_0 = 0$$

Para calcular la TIR, se utiliza el método de interpolación:

Con $r = 10\%$ mensual:

$$VA_{\text{total}} = 7094.32 + 9839.67 + 12930.75 + 14723.76 + 17131.20 + 18159.02 = 79878.72$$

$$VAN = 79878.72 - 82600 = -2721.28$$

Con $r = 8\%$ mensual:

$$VA_{\text{total}} = 7225.69 + 10209.02 + 13665.97 + 15845.53 + 18774.26 + 20266.85 = 85987.32$$

$$VAN = 85987.32 - 82600 = 3387.32$$

Por interpolación lineal:

$$TIR \approx 8\% + \left(\frac{3387.32}{3387.32 + 2721.28} \right) \times 2\%$$

$$TIR \approx 8\% + 1.11\% = 9.11\% \text{ mensual}$$

Convertido a tasa anual:

$$TIR_{\text{anual}} = (1 + 0.0911)^{12} - 1 = 185.6\%$$

$$TIR_{\text{mensual}} = 9.11\%$$

$$TIR_{\text{anual}} = 185.6\%$$

Interpretación: La TIR del 9.11% mensual (equivalente a 185.6% anual) es significativamente superior a la tasa de descuento del 7% anual, lo cual confirma que el proyecto es altamente rentable y viable desde el punto de vista financiero.

Conclusiones del Análisis Financiero

1. **VAN positivo (Bs. 32,848.92):** El proyecto genera valor económico y recupera la inversión inicial en el período de 6 meses.
2. **TIR superior a la tasa de descuento:** Con una TIR mensual del 9.11%, el proyecto supera ampliamente el costo de oportunidad del capital.
3. **Período de recuperación:** La inversión se recupera aproximadamente en el mes 4-5 de operación.
4. **Recomendaciones para maximizar rentabilidad:**
 - Implementar estrategias de marketing digital para aumentar el volumen de pedidos
 - Optimizar costos operacionales mediante automatización
 - Expandir el catálogo de productos para aumentar el ticket promedio

- Considerar expansión a delivery propio para reducir dependencia de terceros